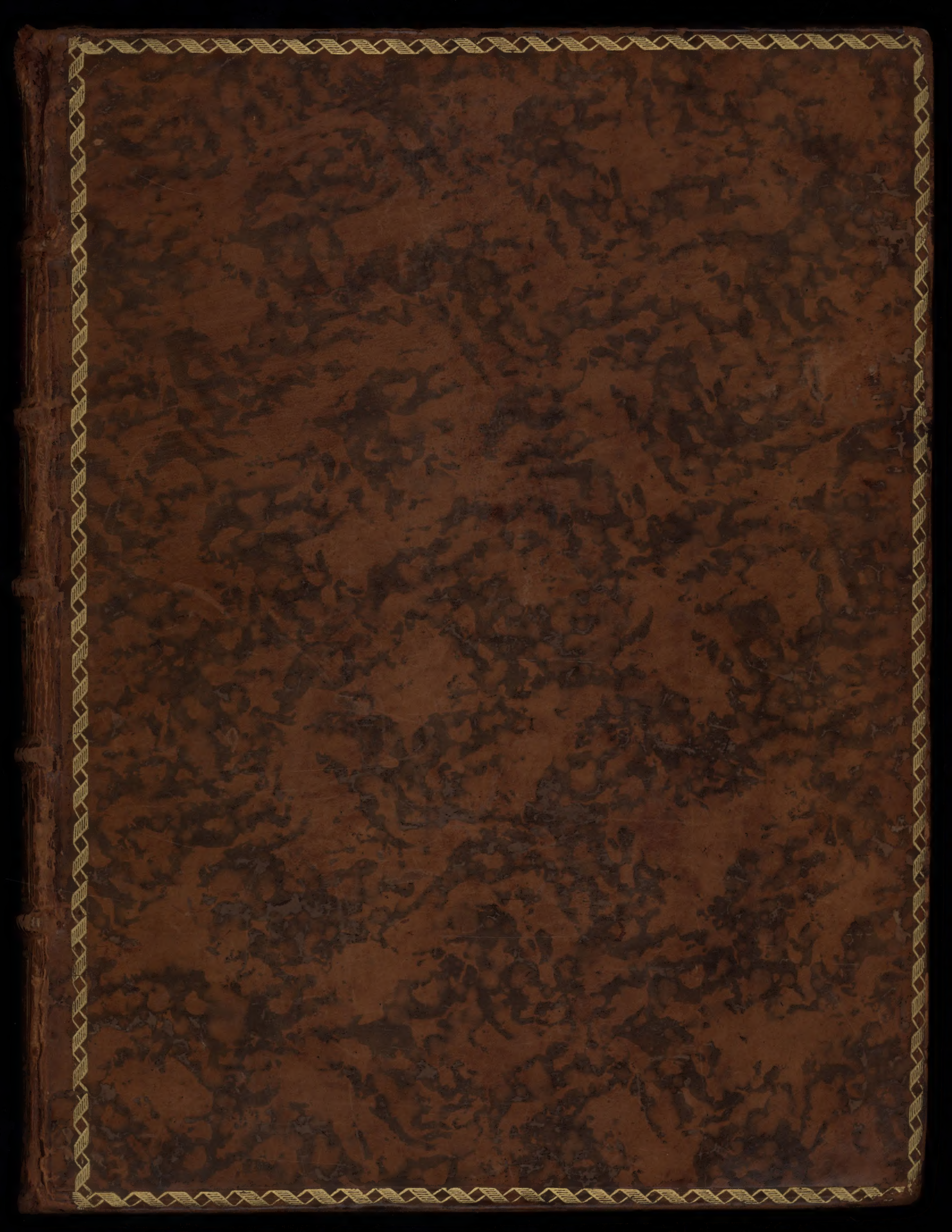






ESSAI

SUR

L'HORLOGERIE.

TOME SECOND.

ESSAI
SUR
L'HORLOGERIE;

DANS LEQUEL ON TRAITE DE CET ART

RELATIVEMENT A L'USAGE CIVIL,

A L'ASTRONOMIE ET A LA NAVIGATION,

EN ÉTABLISSANT DES PRINCIPES CONFIRMÉS PAR L'EXPÉRIENCE.

Dédié aux Artistes & aux Amateurs.

Par M. FERDINAND BERTHOUD, *Horloger.*

TOME SECOND.

Avec Figures en Taille-douce.



A PARIS,

Chez { J. CL. JOMBERT, Libraire, rue Dauphine, à la belle Image.
MUSIER, Libraire, quai des Augustins.
CH. J. PANCKOUCKE, Libraire, rue & près la Comédie Françoise.

M. DCC. LXIII.

Avec Approbation & Privilege du Roi.

TABLE
DES CHAPITRES
Contenus dans cette seconde Partie.

FIN de la Table des Chapitres de la ſeconde Partie.



ESSAI



ESSAI
SUR
L'HORLOGERIE.

SECONDE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

1402. JUSQUES ici j'ai traité de l'Horlogerie, en suivant la route ordinaire des Auteurs qui ont écrit de cet Art; c'est-à-dire, en me bornant simplement aux descriptions des machines, & en prescrivant certains soins de main-d'œuvre aux Ouvriers. Il reste une partie plus essentielle, & dont on n'a point encore écrit, c'est d'établir une théorie & des principes de construction, fondés sur les loix du mouvement, & vérifiés par l'expérience, & d'après lesquels on puisse partir, pour disposer & exécuter les machines qui mesurent le temps, ensorte qu'elles marchent avec la plus grande justesse possible: voilà le but que je me suis proposé dans cette seconde Partie de mon *Essai*. Je suis fort

éloigné de penser que j'aie rempli cet objet ; mais j'en ai du moins tracé le chemin ; & j'ai essayé de traiter cette matiere, de sorte que les Artistes à qui mon Ouvrage est destiné, puissent en profiter. Je vais donc traiter séparément de toutes les parties essentielles des machines qui servent à la mesure du temps, en commençant par les plus simples.

Du Levier.

PLANCHE XX.

Définition.

1403. A B (*Pl. XX, fig.* 1), est une verge inflexible, à laquelle sont attachés deux corps *P* & *p* sans pesanteur (on nomme *Levier* cette verge). Concevons qu'on fasse tourner la verge autour d'un point fixe *H*, & que le corps *P* décrivant l'arc *A a*, le corps *p* décrive l'arc *B b* ; il est visible que les arcs *A a*, *B b* seront dans le rapport des distances *H A*, *H B* ; c'est-à-dire, par exemple, que si *B H* est double, triple, &c, de *A H* ; *B b* sera double, triple, &c, de *A a* ; donc le corps *p* tournera avec une vîtesse double, triple, &c, de celle du corps *P* : Donc,

1404. 1°, Si ces corps sont égaux ; pour arrêter immédiatement le corps *p*, il faudra une force double, triple, &c, de celle qui seroit nécessaire pour arrêter immédiatement le corps *P* :

1405. 2°, Si le corps *p* est triple du corps *P*, il est visible que *P* décrivant toujours *A a*, & *p*, *B b*, on pourra, au lieu du corps *p*, concevoir trois masses égales à *P*, dont chacune seroit animée de la vîtesse *B b* ; & alors la force nécessaire pour arrêter immédiatement *p*, sera triple de ce qu'elle devoit être dans le cas précédent ; donc si la masse *p*, au lieu d'être triple de *P*, n'est au contraire que le tiers, la force nécessaire pour l'arrêter, devra être trois fois moindre que dans le même cas précédent ; donc elle devra être égale

à celle qui arrêteroit immédiatement le corps *P*; donc la distance *H B* étant triple de la distance *A H*, si la masse *p* est au contraire le tiers de la masse *P*, ces masses pourront chacune être arrêtée par la même force; donc elles pourront être arrêtées l'une par l'autre : donc si l'on imagine ces deux masses pesantes, leurs efforts pour tourner étant alors directement opposés & égaux, elles se feront mutuellement équilibre. Par un raisonnement tout-à-fait semblable, on verra que si la distance *B H* est quadruple, quintuple, &c, de la distance *A H*, & la masse *p*, le quart, le cinquieme, &c, de la masse *P*, elles se feront équilibre, d'où l'on déduira en général ce principe : *Si deux masses* P *&* p *attachées aux extrémités d'une verge inflexible* A B, *sont telles que la masse* P *contienne autant de fois la masse* p, *que le bras du levier* H B *contient le bras* A H, il y aura équilibre.

CHAPITRE II.

Des Roues & Pignons.

1406. SI AUTOUR du point *H* (*fig.* 2) on décrit deux cercles *A a*, *B b* qui ayent pour rayons les longueurs *A H* & *H B* des leviers (nous supposons *H B* triple de *A H*), & sur la circonférence desquels soient enveloppés, comme sur des poulies dont le point *H* soit le centre, deux fils chargés des poids *P*, *p*; ces poids resteront en équilibre, si la masse *p* est à celle de *P* comme *H A* est à *H B* (1405); & si l'on veut communiquer au poids *P* une force capable de le faire descendre dans un temps donné de *P* en *C*, ensorte que le point *A* vienne en *a*; alors il faudroit que le poids *p* montât en *d*, & que le point *B* vînt en *b*; le poids *p* feroit conséquemment trois fois plus de chemin que le poids *P*.

1407. D'où il suit : 1°, que le mouvement qu'on auroit

voulu communiquer au poids *P*, feroit exactement compenfé par celui qui en réfulteroit dans le poids *p*, & qu'ainfi ces deux poids ne peuvent manquer de fe maintenir en équilibre, ou de s'y remettre, fi, après qu'on les a mis en mouvement, on les laiffe en liberté; puifque, felon la fuppofition, *A a* & *B b* font des poulies, & que par conféquent *H A* eft égal à *H a*, & *H B* eft égal à *H b*.

1408. 2°, Il fuit encore que lorfque deux corps fe foutiennent en équilibre, les vîteffes qu'ils tendent à acquérir, par un mouvement communiqué, font en raifon inverfe de leurs maffes.

1409. Maintenant fi l'on ôte le poids *p*, le poids *P* entraînera le levier & la circonférence *A*, & fera tourner le point *b* avec une force capable de communiquer une action d'une livre (poids fuppofé au corps *p*); ainfi, fi au lieu de la circonférence *B b*, on imagine des rayons ou leviers *H B*, *H b*, &c. (*fig.* 3), & également diftants l'un de l'autre, chacun de ces leviers agira avec une livre de force. C'eft en confidérant les leviers fous ce point de vue, que cette circonférence devient une roue, & chaque rayon ou levier feront des dents: fi l'on fait une feconde roue ou pignon *C* qui ait des rayons ou dents diftantes entr'elles comme celles de la roue *B*, c'eft-à-dire, que le nombre de dents de *C* foit à celui de *B*, comme la circonférence *C* eft à celle de *B*, & qu'on place le pignon, enforte que les dents de la roue puiffent agir fur celles de ce pignon, comme dans la figure; les dents de la roue communiqueront aux dents du pignon la force qu'elles ont (*a*), de forte que fi l'on applique à la circonférence de ce pignon un poids d'une livre, il fera équilibre avec celui *P*, rien n'ayant dû changer l'équilibre qui exiftoit auparavant; & fi l'on fait mouvoir cette roue

(*a*) Je ne fais pas entrer ici la décompofition de la force dans l'engrenage, & le frottement qui en réfulte; ce qui retranche toujours une partie de la puiffance du poids P: il fuffit, pour le moment actuel, d'envifager ces roues comme fi elles étoient fans poids & fans frottement, ainfi qu'il a fallu le faire pour le levier fimple qu'il falloit fuppofer fans pefanteur: on verra dans le Chapitre cinquieme, quelle doit être la courbure qui doit terminer les dents des roues & pignons.

& ce pignon, la circonférence du pignon parcourra le même eſpace, puiſque chacune de ces dents ſont diſtantes entr'elles comme celles de la roue. Ainſi le nombre des révolutions du pignon ſera à celui de la roue comme la circonférence du pignon eſt à la circonférence de la roue; mais les circonférences des cercles étant entr'elles comme leurs diametres ou leurs rayons, le nombre de révolutions du pignon *C* ſera à celui de la roue *B* comme *C d* eſt à *B H*.

1410. On vient de voir (1409) qu'une roue qui mene un pignon communique à la circonférence de ce pignon, la force qu'elle a à la ſienne: ſoit donc une roue & un pignon que nous avons ſuppoſé avoir une livre de force à leurs circonférences; ſi l'on fixe ſur le centre *C* de ce pignon une roue *D* trois fois plus grande que le pignon, elle parcourra trois fois plus de chemin, & aura trois fois plus de vîteſſe que ce pignon; & pour faire équilibre avec le poids *P*, il ne faudra appliquer au point *D* de la roue qu'un poids trois fois plus léger que *p*, & par conſéquent neuf fois plus léger que *P* (1405); le point *D* va donc neuf fois plus vîte & parcourt un eſpace neuf fois plus grand que le point *A*: paſſons maintenant à la maniere de trouver cette force dans les rouages compoſés de pluſieurs roues, & d'une maniere générale.

REMARQUE.

1411. Nous venons de voir qu'étant donnés les diametres ou les circonférences d'une roue & d'un pignon engrené dans cette roue, le nombre des révolutions du pignon pour un de la roue, eſt déterminé par celui qui exprime combien de fois le diametre du pignon eſt contenu dans celui de la roue. Cela poſé, le nombre des dents d'une de ces deux pieces, c'eſt-à-dire, ou de la roue ou du pignon eſt arbitraire: ainſi l'on peut donner à volonté à une roue 100, 200, &c, dents, ou tout autre nombre quelconque; mais alors il faut que le nombre des dents du pignon ſoit contenu dans le nombre des dents de la roue, autant de fois

que la circonférence de la roue contient celle du pignon; par exemple, sur un pignon qui est dix fois plus petit que la roue qui le mene, & qui fait par conséquent dix tours pour un de cette roue, on peut mettre indifféremment six, huit, dix dents, douze, quinze, vingt, &c, pourvu que la roue en ait toujours dix fois autant : il suit de-là qu'une roue & son diametre étant donnés, ainsi que le nombre de tours du pignon qu'elle conduit, le diametre de ce pignon est déterminé.

CHAPITRE III.

Du calcul de la force transmise par le Moteur à la derniere Roue.

1412. LA PROPOSITION suivante servira à prouver comment on doit calculer les forces transmises à la derniere roue d'un rouage quelconque.

PROPOSITION.

1413. L'espace parcouru par *D* (*fig.* 3) est à l'espace parcouru par *B*, comme la longueur *C D* est à *C d* : c'est une suite de ce que nous avons fait voir, que l'espace parcouru par le pignon *C* est le même que celui de la roue *B* (1409); & si $DC = BH$, l'espace parcouru par *D* sera à l'espace parcouru par *B*, comme *C d* est à *B H* : or le nombre de révolutions du pignon *C* est à celui de la roue *B*, comme *C d* est à *B H* (1409) : ainsi, afin que la vîtesse de *D* soit à la vîtesse de *B*, comme le nombre des révolutions du pignon *C* est à celui de *B*, il faut que la roue *D* ait le même diametre que la roue *B* à laquelle le poids est appliqué; & dans ce cas la force transmise à la roue *D* par le poids *p*, est au poids de *p*, comme le nombre des révolutions du pignon *C* est à celui de la roue *B*.

1414. Nous avons vu (1408) que lorſque deux corps ſont en équilibre, il faut que les vîteſſes ſoient en raiſon inverſe des maſſes; lors donc que l'on voudra avoir la vîteſſe d'une roue quelconque d'un rouage, il faudra non-ſeulement comparer ſes révolutions avec la roue où le poids eſt appliqué, mais comparer les diametres de l'une & de l'autre roues; car on voit que ſi l'on ſuppoſe la roue *D* (*fig.3*) plus grande que *B*, l'eſpace parcouru par *D* ne ſera plus dans le rapport de la révolution du pignon *C*, & que par conſéquent il n'y aura plus équilibre; la peſanteur du poids *q* ſera trop grande, & ne ſera pas à celle de *p* comme le nombre de révolutions du pignon *C* eſt à celui de la roue: & au contraire, ſi la roue *D* eſt plus petite que *B*, le poids *q* ſera trop petit pour faire équilibre à *p*; car l'eſpace parcouru par *D* ne ſera plus à l'eſpace parcouru par *B*, comme le nombre des révolutions de *C* eſt à *B*.

1415. On démontrera de la même maniere que quelque ſoit le nombre des roues & pignons, pour trouver la force tranſmiſe à la derniere roue, il faut comparer non-ſeulement les révolutions, mais encore les diametres de la premiere & derniere roues, afin d'avoir les eſpaces parcourus, puiſque les révolutions ne ſuffiſent pas pour donner la vîteſſe.

1416. On tirera donc de-là une regle pour trouver la force tranſmiſe à la circonférence d'une roue; on ſuppoſera la derniere roue du même diametre que la premiere; on fera enſuite la proportion: *Le poids* P *appliqué à la circonférence de la premiere roue eſt au poids* p, *qu'il faut appliquer à la circonférence de la derniere roue pour faire équilibre, comme le nombre des révolutions de cette derniere roue dans un temps donné eſt au nombre des révolutions de la premiere dans le même temps:* Ce poids *p* étant trouvé, on en déduira facilement celui qu'il faudra appliquer pour faire équilibre, lorſque la derniere roue ſera d'un diametre plus grand ou plus petit que celui de la premiere; comme ſi la derniere roue d'un rouage étoit cinq fois plus petite que la premiere, elle parcourroit cinq fois moins d'eſpace que ſi elle eût été d'un

diametre égal ; & par conſéquent le poids requis doit être cinq fois plus peſant.

REMARQUE.

1417. Nous avons ſuppoſé que le poids P étoit appliqué à la circonférence de la premiere roue ; mais il arrve ſouvent qu'il n'agit que ſur la circonférence d'un cylindre concentrique à cette roue, & plus petit ; alors on voit que le poids ou la force appliquée à la circonférence du cylindre eſt à la force communiquée à la circonférence de la roue, comme le diametre de la roue eſt au diametre du cylindre ; c'eſt-à-dire, que ſi le diametre de cylindre n'eſt que la moitié de celui de la roue, la force tranſmiſe à la circonférence de la roue B, ne ſera que la moitié de celle du poids P, & ainſi des autres.

1418. Nous allons maintenant appliquer ce principe, pour trouver la force tranſmiſe à la derniere roue E de la Pendule à ſecondes (*Planche II*, *fig.* 2) ; ce ſont ces mêmes roues qui ſont repréſentées dans la quatrieme figure de la Planche XX. Nous allons premiérement calculer le nombre de révolutions du pignon d qui porte la roue E, pour un de la roue A.

Roue *A*... 84 dents, engrene Pignon *a* de 12 ailes qui fait 7 tours pour un de la roue *A*.

Roue *B*... 80 . . . . Pignon *b* 10 . . . 8 tours pour un de la roue *B*.

56 tours pour un de la roue *A*.

Roue C... 80 . . . . Pignon *c* 10 . . . . 8 tours pour un de la roue C.

448 tours pour un de la roue *A*.

Roue *D*... 75 . . . . Pignon *d* 10 . . . . $7\frac{1}{2}$

3136

224 moitié de 448.

3360 tours pour un de la roue *A*.

1419.

1419. Le pignon *d* & la roue *E* qu'il porte fait donc 3360 tours, pendant que la premiere *A* en fait un, ce qu'il est aisé de voir : car la roue *B* fait sept tours pour un de la roue *A*; or le pignon *b* fait huit tours pour un de la roue *B*; ce pignon *b*, ainsi que la roue *C* qu'il porte, fait donc 56 tours pendant que la roue *A* en fait un, puisque sept tours de la roue *B*, multipliés par 8 du pignon *b*, font 56; pareillement le pignon *C* fait 8 tours pour un du pignon *b* & de la roue *C*; ainsi multipliant les 56 tours de la roue *C* par les 8 tours du pignon *c*, cela donne 448 tours du pignon *c* & de la roue *D* pendant un de la roue *A*; enfin, à chaque tour de la roue *D*, le pignon *d* fait 7 tours & demi; il faut multiplier 448 tours de la roue *D* par les $7\frac{1}{2}$ qu'elle fait faire, & on aura 3360 tours du pignon *d* (& de la roue *E* qu'il porte) pour un de la premiere.

1420. Si on veut savoir le temps que restera la premiere roue à faire un tour, on voit que cela dépend de celui que restera la roue *E* à faire une révolution ; car la roue *A* sera toujours 3360 fois plus de temps à faire un tour que la roue *E*, puisque cette derniere fait 3360 fois plus de tours ; si donc on suppose que la roue *E* fait un tour par minute, la roue *A* en fera un en 3360 minutes : pour savoir combien cela fait d'heures, il faut diviser ce nombre par 60 (nombre de minutes pendant une heure) ; la division faite, on trouve 56 heures ; c'est donc deux jours & huit heures qu'elle reste à faire une révolution.

1421. Pour trouver combien le poids *P* transmettra de force à la circonférence de la roue *E* : je suppose qu'il pese 12 livres, & que le diametre du cylindre *F* est à celui de la roue *A*, comme 8 est à 12, ou 2 à 3; dans cette supposition le poids agira à la circonférence de la roue *A* avec huit livres qui font 128 onces = 1024 gros ou 73728 grains ; on fera donc la proportion : La force qui s'exerce à la circonférence de la roue *A* est à la force qu'elle communique à la circonférence de la roue *E* (j'appelle *x* cette force) supposée de même diametre, comme le nombre de révolutions de la roue *E* est au nombre de

révolutions de la roue A, ou 73728 : x :: 3360 : 1 ; multipliant les extrêmes, & divisant par le terme moyen connu, on a la valeur de x, qu'on trouve de 21 grains $\frac{3168}{3360}$; & la fraction $\frac{3168}{3360}$ étant réduite, on a 21 grains $\frac{33}{35}$; c'est donc la force qui seroit transmise à la roue E, si elle étoit de même diametre que la roue A ; mais en la supposant trois fois plus petite, le poids p qui y est appliqué parcourt alors trois fois moins d'espace : ainsi, pour qu'il fasse équilibre avec le même poids P, il faut qu'il soit triple de ce qu'on a trouvé dans le calcul précédent ; il doit donc être de grains 65 $\frac{29}{35}$.

REMARQUES.

1422. Il ne suffit pas d'avoir calculé la force transmise par le moteur à la derniere roue d'un rouage, il faut encore faire abstraction des frottements, & de la résistance causée par l'inertie des roues : cette derniere considération est très-essentielle ; car à chaque battement du pendule les roues ont un instant de repos, ensorte qu'il faut que la force qui les met en mouvement se renouvelle à chaque vibration, & qu'elle tire les roues du repos. Les frottements causés par le poids des roues, & cette inertie exigent donc une surabondance de force au-delà de la quantité que nous avonscalculée.

1423. Ces deux quantités, la force qu'il faut pour vaincre la résistance causée par l'inertie, & la force pour vaincre les frottements, augmentent d'autant plus que les roues sont pesantes, & qu'elles ont plus de vîtesse. Il est donc très-essentiel de réduire les roues à leur moindre pesanteur : pour cet effet, il faut les tenir très-petites ; ce qui est sur-tout possible dans les dernieres roues qui n'ont que peu d'effort à vaincre ; & comme les pignons nombrés exigent que les roues qui les menent soient d'un plus grand diametre, il vaut mieux n'employer dans les dernieres roues que des pignons de six (par rapport aux engrenages, en formant de bonnes courbures aux dents, ils seront aussi parfaits que si les pignons étoient nombrés) : ainsi les roues seront réduites à leur moindre grandeur, & par conséquent à la plus

petite pesanteur : la force motrice deviendra donc plus constante, & sera réduite à la plus petite quantité : si l'on veut tenir les roues plus grandes, il faut les nombrer le plus qu'il est possible, sans avoir cependant des dents trop foibles ; & ne les faisant engrener que dans des pignons peu nombrés, on rallentira leurs révolutions. Nous traiterons cet objet des roues plus au long ci-après.

CHAPITRE IV.

Des Engrenages des Roues & Pignons : des conditions requises pour faire de bons Engrenages.

1424. LA PERFECTION des engrenages est une partie si essentielle dans les machines, & sur-tout dans celles qui mesurent le temps, comme les Montres & Pendules, qu'on ne peut trop y apporter de soin & d'attention ; j'ai donc cru nécessaire de présenter ici les effets qui résultent dans les Montres, des engrenages mal faits ; de donner ensuite les principes sur lesquels la théorie de l'engrenage est appuiée ; enfin d'enseigner les moyens pratiques de faire de bons engrenages.

Examen des effets qui résultent des mauvais Engrenages.

1425. Lorsque les courbes des dents sont mal faites, la roue mene le pignon avec différents degrés de force, d'où il arrive ; 1°, (si cette roue communique sa force à un balancier) que le balancier perd son isochronisme, ou, ce qui est le même, qu'il *vibre* avec différents degrés de vîtesse, & que la durée de la vibration change selon les actions différentes de la roue sur le pignon ; 2°, que la force du moteur, pour faire tourner le pignon,

doit être plus grande qu'il ne feroit néceffaire, fi la roue faifoit tourner le pignon d'une maniere uniforme : ainfi cet excédent de force motrice tend feul (indépendamment des autres variations) à détruire la machine par les frottements qu'elle caufe ; & ceux-ci produifent à la longue des variations au régulateur.

1426. Si une roue mene un pignon trop gros, ou, ce qui eft le même, dont les dents ou ailes font plus diftantes entr'elles que ne le font celles de la roue, la force communiquée par la roue, fera en partie détruite par les dents du pignon qui arcbouteront contre celles de la roue : cette force ainfi détruite, exigera qu'on emploie une plus grande force motrice, pour entretenir le mouvement de la machine ; il en réfultera des frottements, de l'ufure, des variations, &c.

1427. Si une roue mene un pignon trop petit, ou dont les dents font moins diftantes entr'elles que ne le font celles de la roue, il arrivera que la dent de la roue agiffant fur un levier, ou dent trop courte, le pignon tournera avec une moindre force & plus de vîteffe, comme on le verra dans le Chapitre fuivant : il fuivra encore de-là qu'une partie de la force de la roue fe perdra par la chûte qu'il y aura du paffage de la dent qui mene à celui de la fuivante qui doit mener. Le pignon ne tournera donc qu'avec une partie de la force de la roue : ainfi le moteur devra avoir une plus grande puiffance qu'il ne feroit befoin fi la roue menoit le pignon uniformément ; cette force excédente, & les inégalités de l'engrenage tendront à détruire la machine, à la faire varier, &c.

1428. Enfin un rouage étant compofé de roues & de pignons dont les engrenages font mauvais, dans certains moments chaque roue agira fur fon pignon avec le plus grand avantage ; ainfi la force tranfmife au régulateur fera la plus grande poffible : & dans d'autres inftants, chaque roue agiffant fur le pignon avec le moindre avantage, la force du moteur en fera comme anéantie ; le régulateur ne recevra que des

impulsions extrêmement petites, or la force du moteur doit être suffisante pour le cas le moins favorable des engrenages ; elle est donc trop grande dans le cas le plus favorable, d'où résultent les inconvénients que nous avons déjà remarqués.

1429. Voilà en gros ce qui résulte des mauvais engrenages ; nous allons voir dans le Chapitre suivant comment les roues doivent agir sur les pignons, & déterminer la forme des dents des roues, pour qu'elles menent le pignon uniformément, de maniere qu'elles lui communiquent également toute la puissance du moteur.

CHAPITRE V.

Démonstration de l'engrenage ; des Courbes des Dents des Roues & Pignons ; de la maniere de tracer ces Courbes.

PLANCHE XX, figure 5.

1430. SI L'ON suppose que deux leviers angulaires *b A D* (*) *b a C* mobiles sur deux appuis fixes *A*, *a*, ayent chacun un bras constant *A D*, *a C* dirigé dans la droite *A a*, qui joint les points d'appui, & chargés à leur extrémité d'un poids constant *P*, *p*, & chacun un bras variable *A b*, *a b*, de sorte que leurs extrémités agissent toujours réciproquement l'une

(*) Je ne considere maintenant que les simples leviers *b A D*, *b a C*, pour ne pas compliquer cette matiere : lorsque j'aurai fait voir comment ils doivent se mener uniformément, soit que le grand levier mene le petit après la ligne des centres, ou que le petit mene le grand après la ligne des centres, ou enfin, soit que le grand ou le petit levier menent avant & après la ligne des centres ; tout cela, dis-je, bien établi pour de simples leviers, s'appliquera facilement aux roues & aux pignons qui ne sont dans le fond que des assemblages de leviers.

ſur l'autre ; je dis que les deux poids P, p qui font équilibre dans le cas où les deux bras variables ont leur point de contact en O, ſitué dans la ligne droite AO, aO, le feront auſſi tant que le point b où ils s'arcboutent, ſe trouvera dans la circonférence d'un cercle dont AO ou aO ſera le diametre.

DEMONSTRATION. Que bn perpendiculaire ſur bA (& qui repréſente le petit arc que le levier bA tend à parcourir en un inſtant, en tournant ſur A) exprime la force abſolue qui s'exerce à l'extrémité b du levier angulaire bAD par l'action du poids P ; ſi l'on ſuppoſe cet effort bn décompoſé en deux autres bm, bi, dont l'un, ſavoir bm, ſoit perpendiculaire à ac, & dont la direction paſſe par le point de contact s (puiſque l'angle b qui a ſon ſommet à la circonférence abs eſt droit) ; & l'autre bi ſoit dirigé ſuivant bA : on voit que bm exprime la partie de l'effort bn qui eſt employée à pouſſer le point b du levier ac de b vers o, & par conſéquent à faire tourner le levier ac, tandis que bi exprime la partie de l'effort bn qui tend à pouſſer le point b vers A, & qui eſt détruite par la réſiſtance du point fixe A : or je dis que bn exprime auſſi la force abſolue qui s'exerce à l'extrémité b du levier angulaire Cab pour s'oppoſer à la rotation du point b autour du point a; car à cauſe des droites DP, bn perpendiculaires aux bras de leviers AD, Ab, le poids P eſt à l'effort bn, comme Ab eſt à AD; mais en tirant AB perpendiculairement ſur bs prolongée, les triangles ſemblables nbm & AbB donnent $bn : bm :: AB : Ab$; donc (en multipliant par ordre) $P : bm :: AB : AD$; maintenant nommons x la force abſolue avec laquelle le poids p tend à faire tourner le point b dans le ſens oppoſé à bo, & nous aurons $p : x :: ab : ac$, ou à cauſe des triangles ſemblables abO, ABO, comme AB à AO; mais dans la ſuppoſition que ces deux poids p & P puiſſent ſe faire équilibre, lorſqu'ils ſe communiquent leurs actions par le point O, on peut, à cauſe des bras de leviers égaux aC, aO, ſuppoſer que le poids p eſt ſuſpendu au point O : donc alors $P : p :: AO : AD$;

donc en multipliant par ordre $P : x :: AB : AD$; or, on vient de prouver que $P : mb :: AB : AD$: donc $bm = x$: donc il y aura équilibre, puisque la force bm est égale à la force avec laquelle le point b est sollicité à tourner par le poids P; on démontrera de même qu'il y aura équilibre, lorsque les leviers Ab, ab se communiqueront leurs forces par tout autre point u de la circonférence $abuO$.

COROLLAIRE I.

1431. Si par les points O, (*fig.* 5 & 6) des centres Aa de mouvement, on décrit les cercles R, X, & qu'on suppose qu'un de ces cercles agisse sur l'autre par un engrenage de dents infiniment petites, les poids P, p resteront en équilibre; & si le cercle R, par exemple, va uniformément, le cercle X sera aussi mu uniformément: car 1°, les dents étant infiniment petites, les rayons AO, aO, par lesquels ces dents agissent, seront toujours de même longueur, & l'action des poids p & P sera toujours appliquée de la même maniere: donc il y aura toujours équilibre. 2°, Si l'un des deux cercles est mu d'un mouvement uniforme, il en sera de même de l'autre: car chaque point d'un cercle s'appliquera successivement à tous les points de l'autre, de sorte que l'espace parcouru par un point O situé à la circonférence de l'un, sera égal à celui O situé à la circonférence de l'autre: or cet espace étant le même, ainsi que le temps du mouvement, la vîtesse des cercles R, X sera aussi la même, d'où suit l'uniformité de mouvement.

1434. On appelle *rayons primitifs* les rayons AO, aO des cercles R, X qui expriment le rapport des révolutions des cercles X, R.

COROLLAIRE II.

1432. Le point b (*fig.* 5), par lequel le levier bAD conduit le levier baC, étant toujours supposé dans la cir-

conférence $a\,b\,O$, les cercles primitifs tendent à tourner avec la même force & la même vîtesse ; car 1°, soient F, f les forces avec lesquelles tendent à tourner dans ce cas la circonférence du cercle R, & celle du cercle X, on aura $bn : F :: A\,O : A\,b$ & $f : bm :: ab : ac$ ou $a\,O$; d'ailleurs on a vu ci-dessus que $b\,m : b\,n :: A\,b : A\,B$; donc $f : F :: A\,O \times a\,b : a\,O \times A\,B$; mais les triangles semblables $a\,b\,O$ & $A\,B\,O$ donnent $a\,O : A\,O :: a\,b : A\,B$; donc $a\,O \times A\,B = A\,O \times a\,b$; donc $f = F$; donc le cercle R étant mu d'un mouvement uniforme, le cercle X sera aussi mu d'un mouvement uniforme ; 2°, quelle que soit la vîtesse du point b du levier $D\,A\,b$, celle qu'il communiquera au levier $b\,a\,C$, suivant la perpendiculaire $b\,m$ au point de contact, doit être la même que celle de ce même point b dans le même sens : or si l'on abaisse la perpendiculaire $n\,o$, la vîtesse suivant $b\,n$ étant représentée par $b\,n$, la vîtesse suivant $b\,m$ sera représentée par $b\,o$. Soient maintenant V la vîtesse de la circonférence R de la roue, & u celle de la circonférence X du pignon, il est évident que $V : b\,n :: A\,O : A\,b$ & $b\,o : u :: a\,b : a\,c$ ou $a\,O$; d'ailleurs les triangles semblables $b\,n\,o$ & $A\,b\,B$ donnent $b\,n : b\,o :: A\,b : A\,B$; donc $V : u :: A\,O \times a\,b : a\,O \times A\,B$; or ces deux derniers produits sont égaux, comme on l'a déjà vu ; donc $u = V$.

COROLLAIRE III.

1433. Si le point b (*fig.* 6), où agit le levier $D\,A\,b$ sur le levier $a\,b\,c$, n'est pas situé dans la circonférence d'un cercle décrit sur $a\,O$, ou sur $A\,O$: s'il étoit, par exemple, placé en dedans comme en g, ou en dehors comme en h, les poids P, p ne seront plus en équilibre ; pour le prouver, il faut tirer la ligne $n\,h$ perpendiculaire au levier $a\,b\,c$; alors suivant ce qui a été dit ci-dessus, on a

$$P : h\,n :: A\,h : A\,D$$
$$h\,n : h\,m :: A\,x : A\,h$$
$$p : P :: AD : A\,O$$
$$z : p :: a\,O : a\,h$$

En

1434. En nommant z la force avec laquelle le poids p tend à faire tourner le point h dans le ſens oppoſé à xh : on a $z : hm :: Ax \times aO : AO \times ah$; or il eſt facile de démontrer que ſi le point h n'eſt point ſur le cercle abO, le produit $Ax \times aO$ ne peut jamais être égal au produit $AO \times ah$; donc z ne peut jamais (dans la même ſuppoſition) être égal à hm; donc il ne peut y avoir équilibre.

COROLLAIRE IV. *fig. 6.*

1435. Les choſes reſtant les mêmes que dans le corollaire précédent, on démontrera d'une maniere analogue à celle qu'on a employée dans le corollaire ſecond, que les forces avec leſquelles les circonférences primitives tendent à ſe mouvoir, ne peuvent être égales, & qu'ainſi la vîteſſe de l'une étant uniforme, celle de l'autre ne ſauroit l'être; donc le point h par lequel le levier Ah pouſſe le levier ac, ne peut être à une diſtance de A, qui ſoit toujours la même, puiſqu'il y auroit une infinité de cas où ce point ne ſeroit point ſur la circonférence abO; ce qui eſt cependant néceſſaire pour l'uniformité du mouvement; donc la figure qu'on doit donner aux dents de la roue pour conduire uniformément l'aile rectiligne d'un pignon, ne peut être une ligne droite.

COROLLAIRE V. *Planche XXI, fig. 1.*

1436. Enfin ſi le levier prolongé AOb eſt formé par une courbe $bs''t''N$ qui ſoit telle que lorſqu'un point fixe N du cercle R aura décrit un eſpace quelconque ON, le levier ac touche cette courbe en un point b qui ſoit ſur ſa circonférence abO, & tellement placé que l'arc Ob ſoit égal à l'arc ON; alors ce levier conduira le pignon avec une force & une vîteſſe uniforme; car l'arc Ob étant égal à l'arc Oc, comme il eſt aiſé de s'en convaincre, il ſera auſſi égal à

l'arc *O N*; & par conséquent ce point *N* & le point *c* auront décrit en même-temps des espaces égaux: d'où suit naturellement la méthode suivante de tracer la figure des dents des roues, lorsqu'elles doivent conduire un pignon dont les ailes sont des lignes droites.

PROBLEME I.

1437. Un levier *A O* (*fig.* 1) agissant sur le levier *a O*, dans le point *O* de la ligne des centres, & les poids *P*, *p* étant d'équilibre, on veut tracer sur le bout prolongé du levier *A O* une courbe *O t' r' s' b'* qui soit telle; 1°, qu'elle fasse parcourir au cercle *X* un espace égal à celui du cercle primitif *R*; 2°, qu'à tous les points de mouvements les poids *P*, *p* restent en équilibre.

SOLUTION.

1438. Par les points *A a* des centres de mouvement des leviers *A o*, *a O*, & de leur point d'attouchement *O*, il faut tracer les cercles primitifs *R* & *X*, diviser la circonférence du cercle *X*, en partant du point *O*, en un nombre à volonté d'arcs égaux, diviser de même le cercle *R*, en partant du point *O*, en un nombre d'arcs égaux qui soit au nombre de ceux du cercle *X*, comme le rayon *A O* est au rayon *a O*; dans cet exemple les rayons étant entr'eux comme 3 est à 1, & le cercle *X* étant divisé en 6 parties égales, on divisera le cercle *R* en 18: si donc ces deux cercles s'entraînent par ce simple attouchement, le cercle *X* fera trois tours pendant que celui *R* en fera un; & lorsque le point *O* du cercle primitif *X* aura parcouru un arc de 60 degrés, comme *O c*, le point *O* du cercle primitif *R* aura parcouru l'espace *O N* ou l'arc de 20 degrés: ces deux quantités *O c*, *O N* sont donc égales, & expriment le développement des deux cercles; on divisera ensuite chaque espa-

ce *O N*, *O c* en un même nombre de parties égales, comme en 5 ; ainſi lorſque les deux cercles *R*, *X* s'entraînent par le ſimple attouchement, chaque diviſion 1, 2, 3, 4, & 1′, 2′, 3′, 4′ ſe rencontrent en *O*, diviſion à diviſion. Du centre *a* l'on tirera les lignes *a c*, *a* 1, *a* 2, *a* 3, *a* 4, qui marqueront les différentes poſitions du levier *a O*, lorſqu'il tourne de *O* en *c* ; & les points *b*, *r*, *s*, *t*, *O*, expriment les longueurs excédentes du levier *A O*, lorſque celui-ci agit ſur celui *a O*, dans ſes différentes poſitions *a* 4, *a* 3, *a* 2, *a* 1 ; ſi donc on tire par ces points d'interſection *b*, *r*, *s*, *t* du demi-cercle *a O* des portions de cercle *b′ b* : *r′ r* : *s′ s* : *t′ t*, &c, ces portions de cercle marqueront les différentes longueurs que doit avoir le levier *A O*, pour mener celui *a O* uniformément ; enfin on portera ces longueurs *O b* : *O r* : *O s* : *O t*, &c, en 5″ *b′* : 4″ *r′* : 3″ *s′* : 2″ *t′* : 1″ *u′*, & l'on décrira des portions de cercles *b′ r′ s′ t′* qui coupent celles *b′ b* : *r′ r* : *s′ s* : *t′ t*, &c ; ſi l'on joint ces interſections par des petites lignes courbes, on aura la courbe *b′ r′ s′ t′ u′ O* qui remplira les conditions demandées : car lorſque le point *O* du cercle primitif *R* aura parcouru l'eſpace *O N*, la ligne 5″ *b′* ſe confondra avec celle *O b* ; ainſi les poids *P* ſeront d'équilibre, & le cercle primitif *X* aura parcouru l'eſpace ſemblable *O c* ; de même, lorſque le point *O* aura parcouru l'eſpace *O x*, la ligne 4″ *r′* s'appliquera ſur celle *O r*, & le levier *a O* ſera parvenu en *a r* 1, les poids ſeront d'équilibre, & les eſpaces *O* 1, *O* 1′ des cercles primitifs *X*, *R* ſeront ſemblables, & ainſi de ſuite, &c.

1439. On déterminera (*fig.* 2) la courbe *O t′ s′ r′ b′* que doit porter le levier *a O*, pour mener uniformément le levier rectiligne *A O*, en ſe ſervant de la même méthode, & en appliquant les mêmes raiſonnements, &c, dont on vient de ſe ſervir pour le cas où le grand levier mene le petit : on opérera ſur le grand cercle primitif *R*, comme on fait ſur le cercle *X* ; on tracera ſur *A O* un demi-cercle *A B O* ; on diviſera le cercle *X* en 6 parties égales, par exemple, &

le cercle R en 18 ; on divisera de même les espaces $O\,c$, $O\,N$ en des parties semblables 1, 2, 3, 4 ; $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, & on tirera, comme dans l'exemple précédent, les rayons $A\,c$, A 1, A 2, &c. & on tirera par les points d'intersection avec le demi-cercle $A\,B\,O$, les portions de cercles $b\,b''$: $r\,r'$: $s\,s'$: $t\,t'$: &c, qui serviront à former la courbe, en décrivant des points $5''$, $4''$, $3''$, $2''$, &c, les portions de cercles $b'\,r'\,s'\,t'\,u'$ qui coupent celles $b\,b'$; de maniere que $5''\,b'$ soit égal à $o\,b$, $4''\,r'$ à $o\,r$, $3''\,s'$ à $o\,s$, &c, & menant par ces points une ligne, on aura la courbe $b'\,r'\,s'\,t'\,O$, & par les mêmes opérations sa semblable $b\,r''\,s''\,t''\,N$; par ces moyens, dans tous les points de mouvements, les poids P, p seront d'équilibre, & les espaces parcourus par les cercles primitifs X & R seront semblables.

REMARQUE.

1440. Les mêmes choses subsisteront, soit que la courbe $O\,u'\,t'\,s'\,r'\,b'$ (*fig.* 2) mene le levier $A\,O$ de O en B, ou que le levier $A\,B$ mene la courbe $b\,r''\,s''\,t''\,N$ de B en O, ou soit que (*fig.* 1) la courbe $O\,u'\,t'\,s'\,r'\,b'$ mene le levier $a\,O$ de O en c, ou que le levier $a\,b\,c$ mene la courbe $b\,r''\,s''\,t''\,N$ de c en O ; mais quoique dans ces différents cas les espaces parcourus par les cercles primitifs soient égaux, & que les poids P, p soient toujours en équilibre, il ne s'ensuit pas de-là qu'il soit indifférent de faire mener ces leviers avant ou après la ligne des centres (*a*) ; au contraire, il est toujours préférable de faire mener *après la ligne des centres*, comme lorsque la courbe $O\,t'\,s'\,r'\,b'$ (*fig.* 1) mene le levier $a\,O$ de

(*a*) On appelle ligne des centres, la droite $a\,O\,A$, qui passe du centre de la roue au centre du pignon ; on dit que la roue mene avant la ligne des centres, lorsqu'une dent R (*fig.* 4) qui avance de R en N, commence à agir sur l'aile s du pignon, avant que ce point s soit parvenu dans la droite $a\,O\,A$. La roue mene après la ligne des centres, après que ce point s est parvenu dans la droite $a\,O\,A$, & que la dent continue de mener l'aile, en tournant de R en N.

O en *c* : car dans ce cas, si la courbe n'est pas d'une extrême précision, il ne s'ensuivra que des inégalités de force & de mouvement ; au contraire, si le levier mene la courbe avant la ligne des centres, il en peut résulter des arcboutements & des frottements capables d'empêcher les leviers de tourner; la raison en est que la force du levier qui mene avant la ligne des centres se décompose, ensorte qu'une partie tend à mener, & l'autre est détruite par le centre du levier, où se dirige une partie de la force, & d'autant plus que comme dans la figure 1, le levier *a b c* menera la courbe *b r s t N* dans un point qui soit plus distant de la ligne des centres de mouvements. La ligne *b B* exprime la direction de la force qui tend à mouvoir ; & celle *b A*, la direction de la force qui est détruite par le centre *A*.

PROBLEME II.

1441. Le nombre de dents d'une roue étant donné, ainsi que celui du pignon qu'elle doit mener, tracer les courbes des dents de la roue & du pignon, & déterminer la menée avant & après la ligne des centres ; soit (*Planche X X I, fig. 3*), *R N* le cercle primitif de la roue, laquelle aura 18 dents, & *X* celui du pignon qui en aura *6*, on divisera le cercle *R* en 18 parties, en partant de la ligne des centres *a O A*, & le cercle *X* en *6* parties, en partant de cette même ligne ; on sous-divisera en plusieurs parties semblables, comme en 5 par exemple, les divisions *O N*, *O c* de la roue & du pignon ; ces divisions serviront à former, par la méthode que donne le premier Problême, la courbe $N u' t' s' r' d$; supposant ensuite que l'aile ou dent du pignon doit être de l'épaisseur de *O u*, on divisera l'arc *N* 4 restant de la division de la roue, en deux parties *N m*, *n m*, en laissant une petite distance entre *n* & *u* pour le jeu de l'engrenage ; du point *m* & du centre *A* de la roue, on tirera la ligne *A m d* qui coupera

la courbe *b s t u N* en un point *d*; ainſi la courbe *d r' s' t' u' N* ſera celle des dents de cette roue, & *m d* l'excédent des dents ſur le rayon primitif; enfin *n N* ſera l'arc de menée après la ligne des centres, & *n O* celui qui devra être parcouru avant la ligne des centres.

1442. Maintenant pour conſtruire la roue & le pignon, on tracera de nouveau (*fig*. 4) les rayons primitifs de la roue & du pignon; & ſur la ligne des centres *A a*, on tracera le demi-cercle *O d a* ſur le rayon du pignon; enſuite du centre *A* (*fig*. 3), & du ſommet de la dent *N u' t' s' d' n*, on prendra la diſtance *A d*, qu'on portera (*fig*. 4); du centre *A* on fera paſſer une portion de cercle qui coupera le demi-cercle *a d O* en un point *d*; ce point marquera le ſommet de la dent; ainſi en tirant du centre *a* du cercle primititif *X*, le rayon *a d c*, ce rayon repréſentera le flanc de l'aile du pignon; ainſi en partant de ce point, on diviſera le cercle *X* en 6 parties, par leſquelles on tirera des rayons au centre *a*; on fera l'épaiſſeur des ailes de la quantité *O u* (*fig*. 3), & les flancs du pignon ſeront formés.

1443. Enfin pour former les dents de la roue, on tirera du centre *A* & du point *d* la ligne *A m d*; & partant du point *m*, on diviſera le cercle *R* en 18 parties, & on tirera des lignes comme *A R n*, qui marquent les diſtances des dents; & ſur les côtés de ces lignes, on formera les courbes tracées (*fig*. 3); on aura (*a*) par ce moyen une roue qui fera mouvoir un pignon auſſi uniformément que ſi le cercle *R* entraînoit celui *X* par le ſeul attouchement. Les courbures des ailes du pignon ſe traceront, comme je l'ai dit ci-devant (1439); mais comme dans l'exemple propoſé, elles deviennent très-petites, n'ayant pour longueur que l'inter-

(*a*) Pour former des dents ſemblables à celles *N d n* (*fig*. 3), ſans recommencer les opérations précédentes, on prendra du centre *A* le ſommet *d* de cette dent, & on le portera ſur une ligne quelconque *A d* (*fig*. 9); on décrira du même centre *A* les portions *s's*, *t't*, *u'u*, *Nn* que l'on portera ſur cette ligne *A d*; enfin on prendra les longueurs, *m N*, *o u'*, *p t'*, 1 *s'*, & on décrira des petites portions de cercles, qui coupent celles *s's*, &c; & menant par les points d'interſection une ligne *N u' t' d s t n*, on aura deux courbes, & par conſéquent une dent ſemblable à celle, *N t' d n*, fig. 3.

valle qui eſt entre le point *r* du cercle primitif *X*, & le point *s* du demi-cercle *A B s O* (*fig.* 4); en prenant cette plus grande longueur *r s* du pignon, & la portant (*fig.* 2), de maniere que du centre *a* on coupe la courbe *N t*, la petite ſection *v* déterminera la longueur *o v* de cette courbe du pignon : ſi la menée commençoit plutôt avant la ligne des centres, on pourroit déterminer la courbe du pignon, en opérant, comme on a fait dans la figure 2, & en appliquant la même méthode dont on s'eſt ſervi pour les dents de la roue; mais on doit éviter, le plus qu'il eſt poſſible, de faire beaucoup mener avant la ligne des centres.

1444. Pour rendre un engrenage le plus parfait qu'il eſt poſſible, & éviter les inégalités des courbes des dents, dans le cas même de la menée après la ligne des centres, il faut faire des pignons d'un plus grand nombre de dents, comme de 8, 10, de 12, &c; par ce moyen on réduit à la moindre quantité les obſtacles qui naiſſent de la menée avant & après la ligne des centres, & les courbures des dents devenant inſenſibles, il en réſulte de moindres inégalités lorſqu'elles ſont mal formées; car l'engrenage des pignons de 6 exige des ſoins pour être bien fait, ſoit pour en déterminer la groſſeur (ce qui varie), ſoit pour former exactement les courbes, & éviter en même-temps les inégalités, les accottements, les frottements, &c.

1445. L'exemple que je viens de donner ſuffit pour faire entendre comment on peut tracer en grand toutes les eſpeces de roues & de pignons poſſibles, & former ainſi des engrenages qui menent uniformément.

1446. On obſervera que la menée avant & après la ligne des centres differe ſelon les nombres de dents des roues & des pignons, & ſelon le rapport des ailes des pignons au nombre des dents de la roue; ainſi il ſeroit à propos que pour chaque nombre différent on fît des figures en grand; de ſorte que par-là on détermineroit pour tous les cas la menée avant & après la ligne des centres, les groſſeurs des pignons, l'excédent des dents de la roue ſur le rayon pri-

mitif; car il faut encore remarquer que les grosseurs des pignons de 6, par exemple, ou tout autre, différent, selon qu'ils font plus ou moins de tours, par rapport à la roue: ainsi un pignon de 6 qui est mené par une roue de 60, est d'une grosseur différente de celui du pignon de 6 qui est mené par une roue de 30, quand même les roues seroient d'une grandeur proportionnée à leurs nombres de dents, & la menée, dans l'un & dans l'autre cas, ne se fait pas également avant & après la ligne des centres; ayant ainsi fixé ces différentes choses, les Ouvriers feroient de bons engrenages.

1447. Il y auroit encore beaucoup à dire sur cet objet; mais les bornes de mon ouvrage ne me permettent pas de m'arrêter plus long-temps sur cette matiere que je n'ai fait qu'ébaucher, pour en donner une notion aux Artistes, mais que l'on doit voir parfaitement traitée dans l'excellent Ouvrage de M. Camus (*Cours de Mathématique*); nous renvoyons au même Ouvrage ceux qui desireront s'instruire de la nature des engrenages formés par une roue de champ. M. de la Lande a aussi traité de la figure des dents; ce que l'on peut voir *Traité d'Horlogerie* de M. le Paute. Voyez aussi *Encyclopédie*, Tome IV, Article *Dent*.

CHAPITRE VI.

Du Calcul des révolutions des Roues.

1448. MON OBJET, en publiant cet Ouvrage, étant sur-tout de le rendre utile aux amateurs Artistes & aux Ouvriers, j'ai cru qu'en faveur des derniers, qui sont ceux qui en ont le plus de besoin, qu'il falloit le traiter le plus simplement possible, en les instruisant: c'est en suivant ces vues que je place ici les méthodes communes de trouver le

le nombre de révolutions de la derniere roue d'un rouage, de calculer le nombre des vibrations, de déterminer facilement le nombre de dents qu'il faut mettre sur les rochets des pendules ou roues d'échappements des montres, &c; enfin de donner quelques méthodes de trouver le nombre d'un rouage; j'avoue que ceux qui savent calculer, n'ont que faire de lire ce que je donne ici sur cette matiere; mais je n'écris pas pour ceux qui savent.

1449. Lorsqu'on parle du nombre de vibrations que fait une Pendule ou une Montre, on sous-entend toujours que c'est en une heure; ainsi lorsqu'on dit qu'une Montre fait 3600 vibrations, on entend que c'est par heure.

METHODE pour trouver les Révolutions des Roues ou Rouages quelconques, sans employer les fractions : Celle de déterminer le nombre de dents que l'on doit mettre aux Roues d'échappement, pour qu'un pendule donné fasse en une heure le nombre des vibrations qui lui est propre.

1450. Si l'on multiplie les nombres de dents d'un rouage quelconque, l'un par l'autre (en quel ordre qu'on voudra) & de même les nombres d'ailes des pignons l'un par l'autre, & qu'on divise le produit des roues par celui des pignons, le quotient de cette division marquera le nombre de tours du dernier pignon pour un de la premiere roue : soit, par exemple, un rouage dont la premiere roue ait 97 dents, & engrene dans un pignon de 12 ailes ou dents; que la seconde ait 73 dents, & engrene dans un pignon 7; la troisieme 65 dents, engrene pignon 7; on trouvera que le dernier pignon fera 782 tours $\frac{449}{588}$ pour un de la premiere roue.

1451. J'arrange ces nombres en cette sorte :

1 Roue. . . . 97 dents, engrene. . . . Pignon 12.
2 Roue. . . . 73 . . . . 7.
3 Roue. . . . 65 . . . . 7.

Je multiplie la premiere roue. 97
par la seconde. 73

291
679

Ce qui donne 7081
que je multiplie par la troisieme. 65

35405
42486

Le produit des roues est donc . . . . 460265.

1452. Je multiplie de même les pignons l'un par l'autre ;

Le premier 12 par le second 7
fait 84
qui multiplié par le troisieme 7
donne . . . . 588.

1453. On divisera le produit des roues par celui des pignons.

Produit des roues 460265 { 588 Produit des pignons.
4866 { 782 $\frac{449}{588}$.
1625

Reste 449.

1454. On aura donc pour quotient le nombre 782 avec la fraction $\frac{449}{588}$; ce nombre exprimera la quantité de tours du troisieme pignon pour un de la premiere roue ; je prends ici pour second exemple, deux roues 78, 76, qui engrenent

l'une & l'autre dans des pignons de 7 ailes : je les place de même que dans l'autre exemple.

1 Roue 78 dents, engrene 7 Pignon.

2 Roue 76 7

468 — 49 Produit des pignons.

546

5928 Produit des roues.

Divisant le produit des roues par celui des pignons,

$$\begin{array}{r|l} 5928 & 49 \\ 102 & 120 \frac{48}{49} \\ \hline \text{Reste } 48. & \end{array}$$

on aura 120 $\frac{48}{49}$ pour quotient, lequel est égal à celui qu'on trouvera par la méthode des fractions.

1455. Si l'une des roues dont on vient de faire le calcul est la roue de minutes d'une Pendule ; que la seconde soit celle de champ, & que le second pignon porte le rochet d'échappement, on trouvera le nombre de vibrations qu'il fera battre au pendule en une heure, en multipliant le quotient 120 $\frac{48}{49}$ du pignon par le double du nombre de dents du rochet (puisque chaque dent du rochet fait faire deux vibrations au pendule (26)) ; supposant que le rochet est de 33 dents.

On multipliera . . . . 120 $\frac{48}{49}$

par 66, double de 33 66

720

720

64 $\frac{32}{49}$ (a)

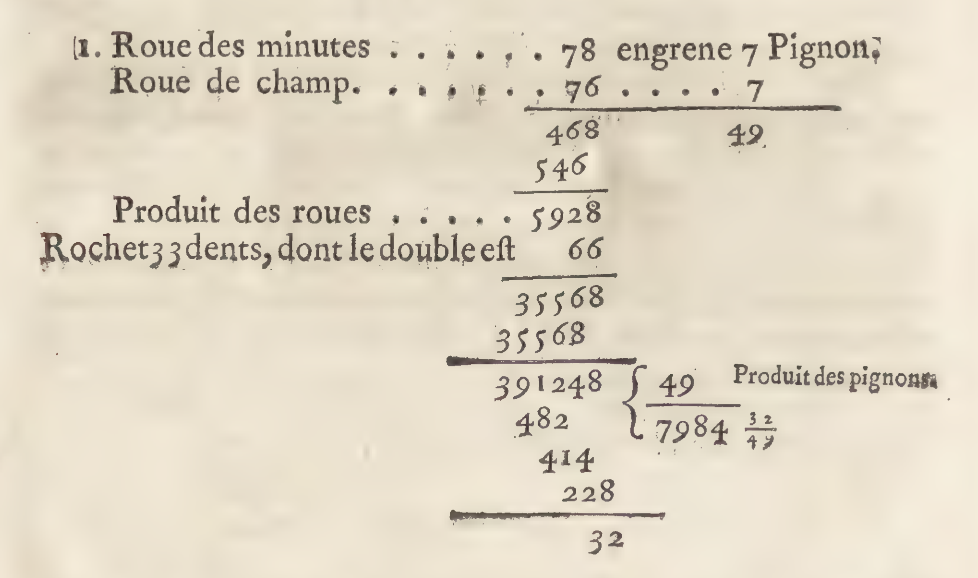
Nombre des vibrations par heure ; 7984 $\frac{32}{49}$

(a) Ce nombre 64 & la fraction $\frac{32}{49}$ qui l'accompagne est le produit de la fraction $\frac{48}{49}$ multipliée par le multiplicateur 66.

1456. Ainsi l'on trouvera que le pendule battra 7984 $\frac{36}{39}$ vibrations, tandis que la roue de 78 dents fera un tour, & celle de rochet 120 $\frac{48}{49}$.

1457. On voit que si l'on a un rouage quelconque donné, on pourra trouver aisément par cette méthode le nombre des révolutions de chacune des roues & pignons, ainsi que le nombre des vibrations que bat le pendule (ou le balancier, si c'est une Montre).

1458. Si l'on veut, par exemple, savoir le nombre de vibrations que fera battre le rouage ci-dessus, dont le rochet est donné; on peut encore abréger l'opération en multipliant le produit des roues par le double du nombre du rochet; & divisant ce dernier produit par celui des pignons, le quotient donnera le nombre des vibrations.



1459. Ayant ainsi trouvé les révolutions des roues, & le nombre des vibrations, lorsque les nombres de la roue d'échappement sont donnés, il faut voir maintenant comment

on détermine le nombre de dents qu'il faut mettre à une roue d'échappement, lorſque la longueur du pendule & le nombre des autres roues ſont donnés.

1460. Soit, par exemple, une roue de minutes de 73 dents qui engrene dans un pignon 6, la roue de champ de 65 engrene pignon 6, lequel porte le rochet d'échappement; on demande quel nombre de dents il faut mettre ſur ce rochet, pour qu'il entretienne la vibration d'un pendule de 15 pouces, la roue de minutes faiſant un tour par heure; pour cet effet on trouvera par la méthode précédente, le nombre de tours que fera le pignon du rochet pour un de la roue de minute; ce nombre ainſi trouvé, on cherchera dans la table de la longueur des Pendules, placée à la fin du Livre, quel eſt le nombre des vibrations que doit battre par heure un pendule de 15 pouces; on trouve 5600 pour un pendule de 15 pouces 2 lignes (*a*); j'ai fait remarquer au commencement de cet Ouvrage (26) que chaque dent de la roue d'échappement fait faire deux vibrations au pendule; ainſi chaque tour du rochet, lui fait faire deux fois plus de vibrations que ce rochet n'a de dents: or ſi l'on double le nombre de tours de cette roue, & qu'on diviſe les vibrations du pendule en une heure par ce nombre, on aura le nombre des dents du rochet.

APPLICATION.

Roue de minutes . . . . 73 engrene 6. Pignon.
multipliée par la roue de champ 65 . . . . . 6.

	365	36 Prod. des pignons.
	438	
Produit des roues	4745	36
	114	131 $\frac{29}{36}$
	65	
	29	

(*a*) Je n'ai pas calculé les longueurs des pendules de ligne en ligne; cela m'auroit entraîné trop loin; ainſi lorſqu'on cherchera le nombre des vibrations d'un pendule, on prendra toujours la longueur la plus approchante du pendule donné.

1461. Le rochet fait donc 131 tours $\frac{29}{36}$ pendant que la roue de minutes en fait un. Le double de 131 $\frac{29}{36}$ est 263, avec une fraction $\frac{22}{36}$ qu'on peut négliger : il faut donc diviser 5600 par 263 ; & le quotient 21 sera le nombre le plus approchant qu'on peut mettre à une roue qui fait 131 tours par heure, pour faire battre 5600 vibrations à un pendule de 15 pouces 2 lignes.

1462. On voit par cette méthode que l'on peut trouver dans l'instant le nombre de dents d'un rochet quelconque ; on voit de plus que 21 dents ne font pas battre exactement 5600 vibrations par heure ; car 263 $\frac{22}{36}$ multipliés par 21, donne 5535 $\frac{30}{36}$, c'est-à-dire, 63 vibrations $\frac{6}{36}$ de moins que le nombre demandé, différence très-petite sur une heure ; d'ailleurs si l'on mettoit une dent de plus au rochet, il feroit faire un plus grand nombre de vibrations que l'on n'a demandé ; 21 est donc le plus approchant.

CHAPITRE VII.

USAGE du Calcul des Fractions, pour trouver le temps de la marche des Pendules ou Montres, le nombre de dents que l'on doit mettre aux Roues d'échappement, &c.

1463. QUOIQUE la méthode que j'ai employée dans le Chapitre précédent, pour calculer les révolutions des rouages, soit la plus simple à bien des égards, il y a cependant des cas particuliers où le calcul par les fractions est plus commode. Je donnerai donc dans ce Chapitre la maniere d'en faire usage dans des cas qui sont applicables à l'Horlogerie, comme par exemple, pour trouver le temps

de la marche d'une Pendule ou Montre, de calculer les vibrations, trouver les nombres de dents convenables aux roues d'échappements, pour de longueur de Pendule, &c.

1464. 1°, Trouver le temps de la marche d'une Pendule dont le rouage est donné, & le nombre de tours que doit faire le poids ou ressort pour la faire aller un temps quelconque donné.

1465. Il faut, par exemple, trouver le temps que marchera un rouage dont la premiere roue qui porte le poids, ou contient le ressort, a 90 dents, & qui engrene dans un pignon de 14, sur l'axe duquel est fixé la grande roue moyenne de 84 dents; celle-ci engrene dans un pignon de 8, dont l'axe prolongé doit porter l'aiguille des minutes; ce pignon porte la roue qu'on appelle *roue des minutes;* elle fait par conséquent un tour par heure.

1466. C'est en calculant le nombre de tours de cette roue des minutes pour un de la premiere, que l'on saura le temps que cette premiere roue reste à faire un tour, & par conséquent le nombre de tours que devra faire un ressort (ou poids, ce qui est le même,) pour faire aller ce rouage pendant 15 jours; c'est ce que nous allons trouver de la maniere suivante.

EXEMPLE.

1. Roue . . 90, engrene . . Pignon 14 qui fait 6 tours, $\frac{3}{7}$.
2. Roue . . 84, engrene . . Pignon 8 . . . . 10 tours, $\frac{1}{2}$.

$\frac{90}{16}$ ($\frac{14}{}$ = 6 tours $\frac{6}{14}$ = 6 tours $\frac{3}{7}$

60
4 $\frac{2}{7}$
3 $\frac{3}{14}$.

67 : $\frac{2}{7}$ + $\frac{3}{14}$ d'heures = 67 heures $\frac{1}{2}$.

$\frac{84}{4}$ ($\frac{8}{}$ = 10 tours $\frac{4}{8}$ = 10 tours $\frac{1}{2}$.

1467. La roue de minutes fait donc 67 tours $\frac{1}{2}$ pour un de la premiere, c'est-à-dire, deux jours 19 heures & 30 minutes que la premiere roue reste à faire une révolution (*a*);

(*a*) Ceux qui savent les fractions, calculeront très-facilement ces révolutions; mais comme il y a des personnes qui ignorent comment on opere sur les fractions,

actuellement pour trouver le nombre de tours de la premiere roue en 15 jours, il ne faut que réduire 15 jours en heures ; ce qui donne 360 heures qu'il faut divifer par $67\frac{1}{2}$, nombre d'heures que la premiere refte à faire un tour ; on trouvera qu'il faut qu'elle faffe 5 tours $\frac{45}{135}$ pour aller 15 jours, environ 5 fois $\frac{1}{3}$.

je m'arrêterai à leur en donner une idée. Je prends ce premier exemple ; c'eft 90 qu'il faut divifer par 14. Je place & fais la divifion à l'ordinaire ; je trouve que 90 divifé par 14 donne 6, & qu'il refte 6 du dividende 90, que je place deffus le divifeur 14, en cette forte $\frac{6}{14}$ qu'on exprime par 6 quatorziemes, lefquels il faut réduire, en divifant le *Numérateur* (on appelle *Dénominateur d'une fraction* le nombre qui indique en combien de parties une chofe eft divifée ; & *Numérateur*, le nombre qui marque la quantité des parties du dénominateur que l'on prend ; ainfi pour écrire un pouce, je puis le faire de cette maniere $\frac{1}{12}$ de pied) 6, & le *Dénominateur* 14 par un nombre qui foit divifeur commun du numérateur & du dénominateur ; ce nombre eft 2 ; ainfi 6 divifé par 2, donne 3, & 14 divifé par 2 donne 7 : cette fraction $\frac{6}{14}$ fe réduit donc à celle-ci $\frac{3}{7}$ qui a la même valeur. Le pignon 14 fait donc 6 tours & 3 feptiemes de tours, pendant que la roue 90 en fait un. Je le place, comme on voit. Je divife pareillement la deuxieme roue 84 par fon pignon 8 ; ce qui fait 10 tours $\frac{1}{2}$ que je place deffous le nombre trouvé ci-deffus. Je multiplie d'abord les 6 tours que fait le pignon 8 pour un de la premiere ce qui donne 6 ; maintenant il refte à multiplier les fractions. Je multiplie le numérateur 3 de la fraction $\frac{3}{7}$ par 10 nombres de tours du pignon 8 pour un de la deuxieme roue ; ce qui fait 30 que je divife par le dénominateur 7 de cette fraction ; je trouve 4 pour quotient avec un refte qui eft $\frac{2}{7}$; je place ce quotient fous le nombre 60 deja trouvé. Je multiplie pareillement 6 nombre des tours du pignon 14 pour un de la premiere roue par le numérateur 1 de la fraction $\frac{1}{2}$; ce qui fait 6 que je divife par 2, dénominateur de cette fraction dont le quotient eft 3 ; que je place deffous l'autre quotient 4 : j'additionne ces quantités, & je trouve 67 $\frac{2}{7}$, qui eft le nombre de tours que fait la troifieme roue ou pignon 8 pour un de la premiere : s'il s'agiffoit d'un calcul qui exigeât une plus grande précifion, il faudroit encore multiplier la fraction $\frac{2}{7}$ par l autre $\frac{1}{2}$; ce qui fe fait en multipliant le numérateur 3 par le numérateur 1 ; ce qui fait 3 qui fera le numérateur de la nouvelle fraction cherchée ; il faut auffi multiplier le dénominateur 7 par le dénominateur 2 : ce qui fait 14, qui fera le dénominateur de cette fraction ; ainfi $\frac{3}{7}$ multipliée par $\frac{1}{2}$ donne pour valeur la fraction $\frac{3}{14}$: la troifieme roue ou pignon 8 fait donc 67 tours $\frac{2}{7}$, plus $\frac{3}{14}$ pour un de la premiere ; enfin on peut encore réduire ces deux fractions à la même valeur : Pour cet effet, je multiplie le numérateur 2 ($\frac{2}{7}+\frac{3}{14}=\frac{28}{98}+\frac{21}{98}=\frac{49}{98}=\frac{1}{2}$) de la premiere fraction par 14, dénominateur de la feconde ; ce qui donne 28, lequel fera le numérateur d'une nouvelle fraction ; je multiplie enfuite le dénominateur 7 de la premiere par le dénominateur 14 de la feconde ; ce qui donne 98, qui devient le dénominateur de la nouvelle fraction $\frac{28}{98}$ dont la valeur eft la même que celle $\frac{2}{7}$, puifque le numérateur & le dénominateur font multipliés par la même quantité 14 ; je multiplie enfuite le numérateur 3 de la feconde fraction par le dénominateur 7 de la premiere ; ce qui donne 21, qui fera le numérateur de la feconde fraction réduite ; je multiplie de même le dénominateur 14 par 7 dénominateur de la premiere ; & je trouve 98 qui eft le dénominateur de la feconde fraction $\frac{21}{98}$, laquelle a même valeur que la feconde $\frac{3}{14}$, étant multipliée par la même quantité 7 : voilà donc ces deux

1468.

1468. Voilà donc le temps que marchera ce rouage ſans être remonté ; il faut à préſent trouver le nombre de tours de la roue d'échappement, pendant un tour de la roue des minutes.

1469. La roue des minutes a 78 dents, elle engrene dans un pignon de 7 ; ce pignon porte la 4e roue, qu'on appelle *roue de champ* ; celle-ci a 76 dents, elle engrene dans un pignon 7, qui porte la 5e roue, qui eſt celle d'échappement, dont il s'agit de trouver le nombre de tours en une heure ; après quoi on trouvera le nombre de dents qu'il faudra mettre ſur cette roue, pour faire battre à un pendule donné le nombre de vibrations qui lui eſt propre.

Roue 3e : 78 dents . . engrene pignon . . . 7 : qui fait . . . . 11 tours $\frac{1}{7}$
Roue 4e : 76 . . . . 7 : . . . . 10 . . . $\frac{6}{7}$

$\frac{78}{1}$ ($\frac{7}{-}$ = 11 tours $\frac{1}{7}$ 110
    1   $\frac{3}{7}$
    9 : $\frac{3}{7}$
$\frac{76}{6}$ ($\frac{7}{-}$ = 10 tours $\frac{6}{7}$ $\frac{6}{49}$
    120   $\frac{6}{7} + \frac{6}{49}$

1470. Le rochet fait donc 120 tours $\frac{6}{7}$ plus $\frac{6}{49}$ par heure, ce qu'on peut eſtimer ſans erreur à 121 tours.

1471. 2°, Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à une roue d'échappement, pour qu'un pendule donné faſſe la quantité de vibrations qui lui eſt propre. Maintenant, ſi on veut que ce rochet faſſe mouvoir un pendule de 12 pouces, par exemple, il faut chercher dans la table des longueurs des Pendules, placée à la fin du livre, quel eſt le nombre de vibrations que fait un pendule de 12 pouces en une heure, on trouvera 6300 : or on a vu que chaque dent de la roue d'échap-

fractions $\frac{2}{7}$ & $\frac{3}{14}$ changées en celles-ci $\frac{28}{98}$ & $\frac{21}{98}$, qui ont la même valeur que les premieres, & ont de plus un dénominateur commun ; il ne faut plus que faire l'addition des deux numérateurs, & on aura $\frac{49}{98}$ égale $\frac{1}{2}$, dont le dénominateur eſt 98 ; ainſi la valeur des deux fractions $\frac{28}{98}$ & $\frac{21}{98}$ eſt $\frac{49}{98}$, qui eſt égale à $\frac{2}{7}$, plus $\frac{3}{14}$: voilà en gros les opérations que l'on emploie communément dans le calcul des fractions ; opérations qui ſont néceſſaires pour différents calculs de rouages & autres ; je ne me ſuis arrêté qu'à ce qui étoit relatif à mon Ouvrage ; mais cet exemple pourra ſuffire pour donner une idée des fractions ; ainſi on pourra appliquer ces méthodes à tous autres exemples & ſujets, quelle que ſoit la nature des fractions ; ce qui ne change point la maniere d'opérer.

pement fait faire deux vibrations au pendule; ainſi chaque tour du rochet ou roue d'échappement fait faire le double de vibrations du nombre de dents qu'elle a. Si donc on double le nombre des tours de cette roue, & qu'on diviſe 6300 par ce nombre, on aura celui des dents de la roue d'échappement. On a trouvé que le rochet fait 121 tours par heure; le double de ce nombre eſt 242; je diviſe donc 6300 par 242; 6300 ($\frac{242}{26}$;

1460
———
8

on trouvera pour quotient 26 (*). Ainſi 26 eſt le nombre de dents le plus approchant qu'il faut mettre à une roue d'échappement, qui fait 121 tours par heure, pour qu'elle faſſe battre au Pendule 6300 vibrations par heure; & pour s'aſſurer que l'on a bien opéré, il ne faut que multiplier 121 par le double de 26 dents du rochet:

```
 121
  52
----
 242
605
----
6292
```

on trouve que cela donne 6292, qui eſt le nombre de vibrations que peut faire battre un tel rouage, pour qu'il ſoit le plus approchant de 6300; ces 8 vibrations de différence ſe corrigent en réglant l'Horloge, dont le pendule devient ſeulement un peu plus court.

Trouver le temps de la marche d'une Montre, & le nombre des vibrations qu'elle fait par heure.

1472. C'EST par des méthodes ſemblables à celles dont

(*) On trouve 26 avec un reſte $\frac{8}{242}$, qu'il faut négliger; car on ne peut pas faire une roue qui ait des fractions de dents: s'il étoit reſté de la diviſion un nombre qui ne fût qu'un peu moindre que le diviſeur, il faudroit augmenter le quotient d'une unité; par exemple, ſi au lieu de 8 reſtant de la diviſion, on avoit 230, ce qui feroit $\frac{230}{242}$, qui ne differe de l'unité que de $\frac{12}{242}$, on prendroit pour quotient 27 au lieu de 26; il faut donc prendre l'unité qui approche le plus près de la valeur de la fraction.

je viens de me ſervir, que l'on trouvera le temps de la marche d'une montre ou de toute autre machine. Je ferai donc ſimplement l'application de ces méthodes, pour trouver le temps de la marche d'une montre, ainſi que le nombre de ſes vibrations. Soit (*Planche VI*, *fig*. 2) le rouage d'une montre, on veut ſavoir combien il faut que la premiere roue faſſe de tours pour que la montre marche 30 heures, & quel eſt le nombre de vibrations qu'elle bat par heure.

1473. La roue *B*, qui eſt celle de fuſée, a 54 dents; elle engrene dans un pignon *a* de 12, qui porte la grande roue moyenne; cette roue fait un tour par heure; ſon pignon porte la tige prolongée, ſur laquelle s'ajuſte l'aiguille des minutes: cette roue fait donc 4 tours & demi pour un de la roue de fuſée: ainſi diviſant par $4\frac{1}{2}$ le nombre 30, (qui eſt le temps qu'on veut que la montre aille ſans monter); on aura le nombre des tours de la roue de fuſée en 30 heures; on trouvera qu'il faudra qu'elle faſſe ſix tours deux tiers. La grande roue moyenne *C* a 60 dents, elle engrene dans le pignon *b* de 6 dents, lequel porte la petite roue moyenne *D*, qui a 48 dents; celle-ci engrene dans le pignon *c* de 6, qui porte la roue de champ *E*; celle-ci a 42 dents, & engrene dans le pignon 7 de la roue de rencontre *R*, laquelle a 15 dents.

Roue *C*.... 60	engrene pignon 6,	fait...	10 tours.
Roue *D*.... 48	 6	.....	8
			80
Roue *E*.... 42	 7	.....	6
			480
Roue *R*.... 15	dents dont le double eſt		30
			14400

Ainſi cette montre fait battre au balancier 14400 vibrations par heure.

Des nombres de dents qu'on peut mettre aux rouages des Montres à huit jours, qui battent 3600 vibrations par heure.

1474. Soit encore un rouage de montre, dont on veut trouver le temps & le nombre des vibrations, je suppose la premiere roue que je nomme *A*, ou de fusée, ait 60 dents, & engrene dans un pignon de 12, qui porte la grande roue moyenne *B* qui ait 60 dents, laquelle engrene dans un pignon de 10, dont l'axe prolongé porte l'aiguille des minutes : ce pignon porte la roue *C*, que j'appelle aussi *roue des minutes*.

1e Roue *A*, 60	engrene pignon	12, qui fait	5 tours
2e Roue *B*, 60	. . . .	10	6
			30 tours.

Ainsi la roue des minutes *C* fait 30 tours pour un de la roue *A* : or comme cette roue de minute *C* fait un tour par heure, il suit que la premiere, ou roue de fusée *A*, fait un tour en 30 heures ; si donc on veut qu'une telle montre puisse marcher huit jours, sans avoir besoin d'être remontée, il faut pour cet effet chercher quel nombre de tours doit faire faire le ressort à la fusée en huit jours ; on réduira pour cela ces huit jours en heures, ce qui fait 192 heures que je divise par 30 nombre de tours de la roue *C* des minutes, pour un de celle de fusée :

$$\begin{array}{r} 24 \\ 8 \\ \hline 192 \\ 12 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 30 \\ \hline 6\frac{12}{30} = 6\frac{4}{10} \end{array} \right.$$

Cela donne six tours & quatre dixiemes, c'est-à-dire, environ 6 tours un tiers : une Montre qui aura les roues marquées ci-dessus, & dont le ressort fera 6 tours $\frac{4}{10}$, marchera donc huit jours sans remonter.

1475. Passons maintenant au nombre de vibrations de ce mouvement de montre : la roue de minute *C* a 60 dents ; elle engrene dans un pignon de 8, qui porte la petite roue moyenne *D* ; celle-ci a 64 dents, elle engrene dans un pignon 8, qui porte la roue *E* d'échappement.

Roue *C*, 60 dents, engrene pignon 8, qui fait 7 tours $\frac{1}{2}$
Roue *D*, 64 . . . . 8, ... 8

56
4
60 tours.

1476. Le pignon qui porte la roue *E*, fait donc 60 tours pour un de la roue des minutes *C* : or celle-ci fait un tour par heure ; par conséquent la roue *E* fait un tour par minute, elle peut donc servir à marquer les secondes. Il reste à fixer le nombre de dents de la roue *E* : pour cet effet je suppose, par exemple, que cette montre doit battre 7200 vibrations par heure ; il faut chercher le nombre de la roue qui peut convenir. Je me sers de la même méthode que j'ai employée pour trouver le nombre de la roue d'échappement de pendule, c'est de doubler le nombre de tours que fait la roue *E* par heure (c'est 60 dont le double est 120) : il faut diviser 7200 par ce nombre-ci. . . . . 7200 ($\frac{120}{60}$, & on aura le nombre de dents de la roue *E*, que je trouve être de 60 ; ainsi en faisant la roue *E* de 60 dents, cette montre battra 7200 vibrations par heure ou deux vibrations par secondes, puisqu'il y a 3600 secondes en une heure, & que 7200 est double de 3600. Enfin, si au lieu de mettre 60 dents sur cette roue, on n'en mettoit que 30, elle feroit pour lors des vibrations, dont la durée feroit d'une seconde de temps ; car le double de 30 (c'est-à-dire 60) étant multiplié par 60 nombre de tours de la roue *E* par heure, donne 3600 nombre de secondes par heure. Je me suis arrêté long-temps sur ces objets, mais on se souviendra que je n'écris pas pour ceux qui savent.

CHAPITRE VIII.

MÉTHODE pour trouver le nombre de dents qu'il faut mettre aux roues d'un Rouage donné.

1477. POUR faire commodément le calcul des révolutions des différentes parties d'un rouage, on peut partager ces parties par assemblages de deux pieces engrenés, dont l'une est celle qui mene, & l'autre est celle qui est menée; alors le mouvement d'une piece menée est représenté par la valeur d'une fraction, dont le nombre des dents de la piece qui mene est le numérateur, & celui de la piece menée est le dénominateur : & le mouvement de la derniere piece menée par la combinaison de tant d'assemblages qu'on voudra, est exprimé par la valeur du produit de la multiplication de chacune des fractions qui représentent ces assemblages.

1478. Par exemple, une roue de 84 dents menant un pignon de 12, forme un assemblage que l'on doit exprimer par la fraction $\frac{84}{12}$, dont la valeur exprime le mouvement de la piece menée qui est ici le pignon, c'est-à-dire, que cette valeur exprime le nombre de tours que fait le pignon, tandis que la roue en fait un. Or la valeur d'une fraction, c'est le quotient du numérateur divisé par le dénominateur; & le quotient de 84 divisé par 12 est 7; donc le pignon fait 7 tours, tandis que la roue en fait un.

1479. Les Arithméticiens expriment la valeur d'une fraction par une autre fraction, qu'ils appellent *réduite aux termes les plus simples;* savoir, en divisant sans reste, quand cela est possible, le numérateur & le dénominateur chacun par un même plus grand nombre possible; car c'est une propriété des fractions que la valeur de la quantité qu'une fraction

représente, ne change pas par quelques nombres qu'on multiplie, ou qu'on divise le numérateur, puis le dénominateur : ainsi multipliant 84 & 12 par un nombre à volonté comme 5, on a $\frac{420}{60}$, qui est une fraction de même valeur que $\frac{84}{12}$; divisant 84 & 12 par un nombre quelconque, comme 6, on a $\frac{14}{2}$, fraction de même valeur que $\frac{84}{12}$: or dans une division, le quotient est d'autant plus petit que le diviseur est plus grand; donc pour qu'une fraction soit réduite aux termes les plus simples, il faut que ses deux termes soient divisés, ou par le dénominateur ou par le nombre le plus approchant du dénominateur. Dans cet exemple, divisant 84 & 12 par le dénominateur 12, on a pour quotients 7 & 1, avec lesquels on peut faire la fraction $\frac{7}{1}$, qui est réduite aux termes les plus simples.

1480. Lorsqu'une fraction réduite aux termes les plus simples a 1 pour dénominateur, sa valeur est exprimée par le numérateur : ainsi la valeur de la fraction $\frac{84}{12}$ ou de $\frac{7}{1}$ est 7. C'est pour cela qu'on a dit que la valeur d'une fraction qui représente un assemblage de deux pieces engrenées, exprime le mouvement de la piece menée.

1481. Selon les mêmes principes, si l'axe du pignon dont on vient de parler, porte une roue *B* de 80 dents, engrenée dans un autre pignon de 10 dents, ce second assemblage sera représenté par la fraction $\frac{80}{10}$, qui réduite aux termes les plus simples, est $\frac{8}{1}$, & exprime le mouvement du second pignon, lequel fait par conséquent 8 tours, tandis que la roue *B* en fait un. Delà on voit que ce pignon fait 7 fois 8 tours, tandis que la roue *A* en fait un. Or 7 fois 8 est la même chose que $\frac{7}{1}$ multiplié par $\frac{8}{1}$; & $\frac{7}{1}$, $\frac{8}{1}$ sont de même valeur que $\frac{84}{12}$ & $\frac{80}{10}$; donc $\frac{84}{12}$ multiplié par $\frac{80}{10}$, exprime le mouvement du second pignon; & ainsi en général on conclura que le produit de chacune des fractions, qui représente autant d'assemblages de deux pieces engrenées, exprime le mouvement de la derniere piece menée, de sorte que pour avoir le nombre de tours que cette derniere piece fait, tandis que la premiere piece qui mene en fait un, il faut diviser le produit des numérateurs de ces fractions par le produit des dé-

nominateurs : si par exemple on multiplie $\frac{84}{12}$ par $\frac{80}{10}$, on aura $\frac{6720}{120}$, & divisant 6720 par 120, on a comme ci-dessus 56, pour le nombre de tours du second pignon.

1482. De même pour exprimer le mouvement du rouage de la Pendule à secondes, (*Planche XX, fig.* 4) où les roues *A* de 84, *B* de 80, *C* de 80, *D* de 75, menent les pignons *a* de 12, *b* de 10, *c* de 10, *d* de 10; on a $\frac{84}{12} \times \frac{80}{10} \times \frac{80}{10} \times \frac{75}{10} = \frac{40320000}{12000}$, qui se réduit par la division du dénominateur par le numérateur à 3360, ou bien en réduisant chaque fraction aux termes les plus simples, on a $\frac{7}{1} \times \frac{8}{1} \times \frac{8}{1} \times \frac{7\frac{1}{2}}{1} = 3360$.

1483. Il suit enfin des mêmes principes, que puisque $\frac{84}{12} \times \frac{80}{10} \times \frac{80}{10} \times \frac{75}{10} = \frac{84 \times 80 \times 80 \times 75}{12 \times 10 \times 10 \times 10}$, & qu'en quelque ordre qu'on arrange les nombres qui sont dans le numérateur de cette derniere expression, & ceux qui sont dans le dénominateur, on a toujours le même produit ; il suit, dis-je, que de quelque façon qu'on combine des roues & des pignons, dont le nombre de dents est déterminé, on ne peut produire que le même mouvement ; c'est-à-dire, que la derniere piece menée fera toujours le même nombre de tours pour un de la premiere qui mene, bien entendu que dans cette combinaison on ne fera pas mener des roues par des roues, ou des pignons par des pignons.

REGLE générale pour trouver le nombre des dents des Roues & des Pignons qui doivent produire un nombre de tours donné.

PREMIERE PARTIE.

1484. SOIT proposé, par exemple, de faire faire 3600 tours à la derniere roue d'un rouage tandis que la premiere en fait un. 1°, Divisez le nombre donné 3600 par 2, puis le quotient encore par 2, le second quotient encore par 2, & toujours

toujours ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on trouve un quotient qui ne soit plus divisible par 2 sans reste. Alors divisez ce quotient par 3, & le quotient de ce quotient par 3, & ainsi de suite, jusqu'a ce qu'on en trouve un qui ne puisse plus être divisé par 3 : alors divisez ce dernier quotient par 5; & si cela se peut sans reste, divisez encore le nouveau quotient par 5, & ainsi de suite, jusqu'a ce que vous trouviez un quotient qui ne soit plus divisible sans reste par 5 : divisez ce dernier quotient par 7, & s'il se trouve un nouveau quotient sans reste, divisez-le encore par 7, &c, jusqu'à ce que le dernier quotient soit 1.

1485. Cette regle s'exprime ainsi en ce peu de mots, que les Mathématiciens entendront facilement : Prenez tous les nombres premiers qui sont les diviseurs exacts du nombre donné.

1486. Dans cet exemple, je divise 3600 par 2; j'ai pour quotient 1800 que je divise par 2; j'ai 900 que je divise par 2; j'ai 450 que je divise par 2, & j'ai 225; ce dernier quotient n'étant pas pair n'est plus divisible par 2; je le divise donc par 3, & j'ai 75 que je divise par 3, & j'ai 25; or 25 ne peut plus être divisé sans reste par 3; je le divise donc par 5, & j'ai 5 que je divise par 5, & j'ai pour dernier quotient 1.

1487. II. Ayant écrit à part tous les diviseurs qui ont été employés dans cette opération, c'est ici 2, 2, 2, 2, 3, 3, 5, 5, partagez-les en autant de lots que vous voulez employer de roues, comme 4, par exemple; vous pouvez prendre pour lots 2, 2, 2, puis 2, 3, ensuite 3, 5, enfin 5 : ou bien 2, 3; 2, 3; 2,5; 2,5 : ou bien 2,5; 2,5; 2,2; 3,3; &c.

1488. III. Ayant fait les lots, multipliez ensemble les nombres qui les composent chacun, & écrivez comme ci-dessus les produits en autant de fractions, dont le dénominateur soit 1; ainsi, selon la premiere combinaison, on aura $\frac{8}{1} \times \frac{6}{1} \times \frac{15}{1} \times \frac{5}{1}$: selon la seconde, $\frac{6}{1} \times \frac{6}{1} \times \frac{10}{1} \times \frac{10}{1}$: selon la troisieme, $\frac{10}{1} \times \frac{10}{1} \times \frac{4}{1} \times \frac{9}{1}$.

1489. IV. Multipliez chacun des deux termes de chaque fraction par un même nombre à volonté, mais qui doive

exprimer le nombre de dents des pignons; par exemple, dans la premiere combinaison, je multiplie les deux termes de $\frac{8}{1}$ par 10 & j'ai $\frac{80}{10}$: les deux termes de $\frac{6}{1}$ par 12, & j'ai $\frac{72}{12}$; les deux termes de $\frac{15}{1}$ par 7, & j'ai $\frac{105}{7}$; les deux termes de $\frac{5}{1}$ par 9, & j'ai $\frac{45}{9}$.

1490. V. Réunissez tous vos produits en une même fraction, ainsi j'ai $\frac{80 \times 72 \times 105 \times 45}{10 \times 12 \times 7 \times 9}$.

1491. VI. Enfin, choisissez dans les nombres du dénominateur (qui expriment les dents des pignons) ceux que vous voudrez ajuster aux nombres du numérateur (qui expriment les dents des roues): ainsi je pourrai exécuter le rouage par une roue de 45 qui mene un pignon de 7, par une roue de 72 qui mene un pignon de 9, par une roue de 80 qui mene un pignon de 12, & par une roue de 105 qui mene un pignon de 10, &c.

1492. On voit par-là qu'il y a un très-grand nombre de combinaisons à choisir, & que l'on ne doit donner la préférence qu'à celles qui proportionnent la grandeur des nombres aux diamétres des roues, & à l'effort qu'elles ont à vaincre.

1493. Comme la pratique de cette regle n'est commode que lorsque le nombre donné est susceptible d'un grand nombre de divisions successives, par les nombres 2, 3, 5, 7, 11, & que de plus grands diviseurs premiers donneroient des roues trop nombrées, & que les nombres qui se divisent successivement par des petits diviseurs sont très-bornés, il faut rendre cette regle d'un usage plus étendu.

II. EXEMPLE.

1494. SI ON veut faire faire 205 tours à la derniere roue d'un rouage, pendant que la premiere en fait un, je prends les nombres premiers de 205, & je trouve 5 & 41 dont je fais deux lots pour avoir deux roues; ainsi j'ai $\frac{5}{1}$ & $\frac{41}{1}$; je veux employer des pignons de 6 ailes, ce qui donne $\frac{30}{6} \times \frac{246}{6} = 205$; mais $\frac{41}{1}$ multiplié par 6, qui est le pignon le moins nombré que l'on doive employer, donne une roue 246 d'un

trop grand nombre de dents, & trop diſproportionnée à la roue 30 ; ainſi la regle que nous venons de donner eſt applicable à trop peu de nombres. Mais on la rendra beaucoup plus générale par la méthode ſuivante, qui eſt une ſuite de la même regle, & qui donne des rouages mieux proportionnés, par la raiſon que lorſque par la premiere regle on trouve un diviſeur premier trop grand pour pouvoir être multiplié par les ailes du pignon, on peut recourir à la ſeconde que nous allons donner, laquelle rejette ce premier diviſeur pour ſervir à former une roue.

II. PARTIE DE LA REGLE.

1495. Faites un produit des ailes qu'on veut donner aux pignons, par lequel produit vous multiplierez le nombre des révolutions qu'on veut avoir ; prenez autant de racines de ce ſecond produit que vous voulez avoir de roues.

I. EXEMPLE.

1496. Je prends pour exemple le précédent, par lequel on demande qu'une roue menée faſſe 205, tandis que la premiere qui mene en fait un. On veut employer deux roues & deux pignons de 6 ailes chacun : je les multiplie l'un par l'autre, ce qui donne 36 ; par lequel nombre je multiplie 205 ; vient 7380, dont je prends tous les diviſeurs premiers que j'écris de haut en bas comme on le voit ;

7380	2
3690	2,4
1845	3,6,12
615	3,9,18,36
205	5,20,30,60,45,90,180
41	41,82,123,146, &c.
1	

1497. Je multiplie le premier diviſeur 2 par le ſecond 2, & j'écris le produit 4 à la droite du deuxieme diviſeur :

ensuite je multiplie le premier diviseur 2, & le produit 4 par le troisieme diviseur 3 : j'écris les produits 6 & 12 à la droite du troisieme diviseur. Je multiplie de même par le quatrieme diviseur tout ce qui est au-dessus, en omettant d'écrire ceux qui sont déja écrits, & ainsi de suite jusqu'au dernier diviseur; tous ces produits seront autant de diviseurs justes du nombre proposé 7380.

1498. Pour avoir les deux roues qu'on cherche, entre ces diviseurs prenez-en un à discrétion, qui servira pour une roue, comme 60, par exemple; divisez ensuite 7380 par 60, le quotient donnera 123 pour la seconde roue; mais comme ces deux roues sont trop inégales en nombre, au lieu de 60 je prends 90, par lequel je divise 7380, je trouve pour quotient 82; ainsi les deux roues sont 90 & 82, & les pignons ont été choisis de 6 ailes; j'ai donc $\frac{90}{6} \times \frac{82}{6} = 205$.

1499. On voit que cette méthode fournit une très-grande quantité de nombres qui remplissent les conditions requises, & que le choix fait parmi ces nombres pour une des roues, donne l'autre; mais pour abréger, on peut le faire comme dans l'exemple suivant.

II. Exemple.

1500. On veut faire faire 255 tours à la derniere roue d'un rouage, tandis que la premiere en fait un, & l'on veut employer deux roues & deux pignons. Les deux pignons étant de 6, leur produit sera 36, par lequel on multipliera 255, & l'on aura 9180, dont on prendra tous les diviseurs premiers, qui sont 2, 2, 3, 3, 3, 5, 17. (Je multiplie ces nombres premiers deux à deux, puis trois à trois, ensuite quatre à quatre, cinq à cinq, &c, en omettant d'écrire les produits qui le sont déja, & j'ai par ce moyen tous les nombres qui peuvent diviser sans reste le nombre proposé. J'ai donc $2 \times 2 = 4$, $2 \times 3 = 6$, $2 \times 5 = 10$, $2 \times 17 = 34$, $3 \times 3 = 9$, $3 \times 5 = 15$, $3 \times 17 = 51$, $5 \times 17 = 85$, $2 \times 2 \times 3 = 12$, $2 \times 2 \times 5 = 20$, $2 \times 2 \times 17 = 68$, $2 \times 3 \times 5 = 30$, $2 \times 3 \times 17 = 102$, $2 \times 5 \times 17 = 170$, $3 \times 3 \times 3 = 27$, $3 \times 3 \times 5 = 45$, $3 \times 3 \times 17 = 153$, $3 \times 5 \times 17 = 255$,

$2\times2\times3\times3=36$, $2\times2\times3\times5=60$, $2\times2\times3\times17=204$, $2\times3\times3\times3=54$, $2\times3\times3\times5=90$, $2\times3\times3\times17=306$, $2\times3\times5\times17=510$, $3\times3\times3\times5=135$, $3\times3\times3\times17=459$, $3\times3\times5\times17=765$, $2\times2\times3\times3\times3=108$, $2\times2\times3\times3\times5=150$, $2\times2\times3\times3\times17=612$, $2\times3\times3\times3\times5=270$, $2\times3\times3\times3\times17=918$, $3\times3\times3\times5\times17=2295$, $2\times2\times3\times3\times3\times5=540$, $2\times2\times3\times3\times3\times17=1836$, $2\times3\times3\times3\times5\times17=4590$, $3\times3\times3\times5\times17$, &c.) Ceci étant trop long....

1501. Je prends à volonté le produit de deux, de trois, de quatre, de cinq, &c, de ces diviseurs, selon que je juge que ce produit donne un nombre propre à faire une de mes roues, & le produit des autres diviseurs sera le nombre de dents de l'autre roue : ainsi ayant pris $2\times2\times3\times5$, qui fait 60 nombre de dents d'une des roues, les autres diviseurs $3\times3\times17$ donnent 153 pour le nombre des dents de l'autre roue ; mais comme ce nombre est trop grand, je choisis une autre combinaison des diviseurs ; par exemple, $2\times3\times3\times5$ qui fait 90 ; les autres $2\times3\times17$ donnent 102 ; ainsi mes roues doivent avoir l'une 90, & l'autre 102 dents.

PROBLEME PREMIER.

Trouver les dents des roues pour former un rouage de Montre, qui soit tel, que tandis que la roue des minutes fait un tour, le balancier batte 15200 vibrations.

1502. JE REMARQUE, que pour n'avoir pas des roues trop nombrées, il faudra employer, ainsi que cela se pratique pour les montres ordinaires, quatre roues & trois pignons, dont le dernier portera la roue de rencontre qui fera la quatrieme roue : jemploye des pignons de 6 ailes dont le produit est 216, que je multiplie par 15200, j'ai le produit 3283200, qu'il faut diviser d'abord par le double du nombre de dents que je veux donner à la roue d'échappement (à cause que chaque dent d'échappement produit deux vibrations) : je

prends pour la roue d'échappement un nombre, dont le double divise sans reste 3283200 : je prends, par exemple 15, dont le double 30 donne pour quotient 109440, dont je cherche tous les diviseurs qui sont nombres premiers; ce sont 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 3. 3. 5. 19. Je partage ces nombres en trois lots (*) pour mes trois roues, observant seulement que le produit de chaque lot fasse un nombre de dents propre à l'espece d'Horloge dont il s'agit : par exemple, je prends $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 48$, puis $2 \times 2 \times 2 \times 5 = 40$, enfin $3 \times 19 = 57$: ainsi mes roues sont de 48, 40 & 57 dents : ou bien je prens $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$, $3 \times 3 \times 5 = 45$, & $2 \times 19 = 38$.

PROBLEME II.

Trouver les nombres à mettre à un rouage pour avoir une roue qui acheve sa révolution en 365 jours.

1503. JE SUPPOSE qu'on veuille faire conduire cette roue de 365 par une roue qui fasse un tour en 12 heures, & que l'on veuille employer deux roues & deux pignons de 6 ailes; on aura donc la roue de 12 heures qui devra faire 730 tours, pendant que la roue annuelle en fait un; on multipliera 730 par le produit des deux pignons qui est 36; ce qui donne 26280, dont on cherchera les nombres premiers, 2, 2, 2, 3, 3, 5, 73 qu'on divisera en deux lots, comme $2 \times 73 = 146$, & $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 5 = 180$; on a donc $\frac{146}{6} \times \frac{180}{6} \times 12^{h} = 365$ jours.

PROBLEME III.

Trouver les nombres de dents des roues propres à former un rouage, pour qu'une roue fasse sa révolution en 365 jours 6 heures.

1504. JE REDUIS 365 jours en heures, en multipliant 365 par 24, ce qui donne 8760; j'ajoute 6 heures, & j'ai 8766 :

(*) Si le rouage eût été composé de quatre roues, outre celle de rencontre, il eût fallu partager les diviseurs en quatre lots, &c.

c'eſt-à-dire, que la roue des minutes devra faire 8766 tours, tandis que la roue annuelle en fera un : ce rouage pourra être fait avec trois roues & trois pignons ; je donne 6 ailes à chaque pignon, leur produit eſt 216, que je multiplie par 8766 ; ce qui donne 1893456 dont je cherche tous les diviſeurs premiers, & j'ai 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 487 ; le dernier diviſeur fait voir qu'il faudra employer une roue de 487 dents, je partage les autres en deux lots, comme $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 = 72$, & $2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$; on a donc $\frac{487}{6} \times \frac{72}{6} \times \frac{54}{6} \times 1^{h} = 365$ jours 6^{h}.

PROBLEME IV.

Trouver les nombres de dents qu'il faut mettre à un rouage d'Horloge à ſonnerie, pour la faire marcher 96 jours ſans remonter.

1°. *Du mouvement de l'Horloge.*

1505. JE SUPPOSE que l'on veuille employer un pendule de 14 pouces une ligne, on cherchera dans la table des longueurs des pendules (qui eſt à la fin de la II. Partie) quel eſt le nombre de vibrations qu'un tel pendule fait en une heure ; on trouve 5800.

1506. Pour produire ce nombre de vibrations, & pour n'avoir pas des roues d'un trop grand nombre de dents, il faudra employer trois roues & deux pignons : ſavoir, la roue de minute, celle de champ & la roue d'échappement. Pour les deux pignons, je leur donne un nombre d'ailes à volonté comme 6, dont le produit eſt 36 par lequel je multiplie 5800, ce qui donne 208800 ; je choiſis pour les dents de la roue d'échappement un nombre dont le double puiſſe diviſer 208800 ſans reſte ; je prends 30 dont le double eſt 60, j'ai pour quotient 3480, dont je cherche tous les nombres premiers 2, 2, 2, 3, 5, 29 que je partage en deux lots, comme $2 \times 2 \times 3 \times 5 = 60$, & $2 \times 29 = 58$; ainſi j'ai, roue de minute 60, roue de champ 58, & roue d'échappement 30, & deux pignons, ce qui produit 5800 vibrations ; car $\frac{60}{6} \times \frac{58}{6} \times 30 \times 2 = 5800$; voilà pour les vibrations.

1507. Maintenant pour trouver les autres roues du rouage, afin de faire marcher l'Horloge 96 jours, il faut d'abord chercher le nombre d'heures que contiennent 96 jours, ce que l'on trouvera en multipliant 96 par 24, on aura 2304: suppoſant que la premiere roue du mouvement peut faire 9 tours en 96 jours, ſoit par un poids dont la corde entoure 9 fois le cylindre, ſoit par un reſſort mis dans un barillet; en diviſant 2304 par 9, le quotient 256 marquera le nombre de tours que doit faire la roue de minutes pour un de la premiere roue : je ſuppoſe qu'on veuille produire ce mouvement par deux roues & deux pignons, la premiere roue, & la grande moyenne, & que l'on veuille employer des pignons de 8, on fera le produit des pignons qui eſt 64; on multipliera 256 par 64, on prendra les nombres premiers, diviſeurs du produit 16384, on aura 2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2; qu'on partagera en deux lots, comme 2 × 2 × 2 × 2 × 2 × 2,2,=128 & 2 × 2 × 2 × 2,2,2,2=128.

2°. *Du rouage de la ſonnerie.*

1508. La seconde roue d'une ſonnerie ordinaire porte la roue de compte, & fait un tour en 12 heures; & comme une telle ſonnerie ſonne les heures & les demies, le marteau frappe 90 coups, pendant que la roue de compte fait un tour; ainſi en plaçant 90 chevilles ſur cette roue, ces chevilles ſerviroient à faire frapper le marteau; mais comme ces chevilles ſeroient fort près les unes des autres (à moins de faire la roue très-grande) leur effet avec la levée de marteau, demanderoit une préciſion qui n'eſt pas à la portée de tous les Ouvriers; c'eſt pour prévenir cet inconvénient que l'on place les chevilles ſur une roue particuliere : on l'appelle *Roue de cheville*, (81) qui eſt menée par la roue de compte : ſi donc on place 10 chevilles ſur cette roue, il faudra qu'elle faſſe 9 tours pour un de celle de compte; & ſi on donne 8 dents au pignon de la roue de cheville, la roue de compte devra avoir 72 dents; maintenant pour trouver le nombre de dents de la roue de cheville, on obſervera qu'il faut que la roue d'arrêt (82) dans le

pignon de laquelle elle engrene, faſſe un tour à chaque coup de marteau ; or à chaque tour de la roue de chevilie il en frappe 10, ainſi la roue d'arrêt devra faire dix tours pour un de celle des chevilles ; ſi donc on donne 6 ailes au pignon de la roue d'arrêt, celle des chevilles aura 60 dents : quant aux nombres de dents de la roue d'arrêt & de celle de volant, il dépend & de la force du moteur & de la largeur que l'on veut donner au volant ; on donne communément 54 dents à celle d'arrêt & 48 à celle de volant, & on emploie des pignons de 6.

1509. Pour faire marcher la ſonnerie pendant 96 jours ſans la remonter, la roue de compte devra faire 2 fois 96 tours, puiſqu'elle met 12 heures à chaque révolution ; ſi donc on ſuppoſe que la premiere roue de ſonnerie doit faire 9 tours en 96 jours, en diviſant 192 par 9, le quotient $21\frac{1}{3}$ ſera le nombre de tours que devra faire la roue de compte pour un de la premiere ; il faudra employer deux roues & deux pignons ; je prends des pignons de 12 dont le produit eſt 144, que je multiplie par $21\frac{1}{3}$, ce qui donne 3072, dont je prends les diviſeurs premiers 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3 que je partage en deux lots comme $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$, & $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 48$: Voici donc le rouage de cette Horloge.

Mouvement.

$$\frac{128}{8} \times \frac{128}{8} \times \frac{60}{6} \times \frac{58}{6} \times 30 \times 2.$$

Sonnerie.

$$\frac{48}{12} \times \frac{64}{12} \times \frac{72}{8} \times \frac{60}{6} \times \frac{54}{6} \times \frac{48}{6}.$$

PROBLEME V.

Trouver le nombre de dents qu'il faut mettre à un Rouage de Montre à ſecondes d'un ſeul battement, pour la faire marcher un an ſans remonter.

1510. JE SUPPOSE que la fuſée peut faire 12 tours $\frac{1}{7}$, pour faire marcher la montre 368 jours 13 ^{h}, & que l'on veut

employer 4 roues & 4 pignons ; ſavoir 3 pignons de 6 & un de 8, & que le dernier pignon fera un tour par minute, & portera une cinquieme roue qui ſera celle d'échappement : dans cette ſuppoſition la roue de fuſée fera un tour en 30 jours 5 heures, ce qui donne 43500 minutes, c'eſt-à-dire, que la roue d'échappement fera 43500 révolutions pour une de la fuſée.

1511. Pour trouver les nombres des 4 roues, il faut faire le produit des 4 pignons qui eſt 1728, & multiplier 43500, par ce produit, on aura 75168000, dont on trouvera tous les nombres premiers qu'on partagera en quatre lots convenables ;

comme $2 \times 2 \times 29 = 116$

$2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 = 108$

$2 \times 2 \times 5 \times 5 = 100$

$2 \times 2 \times 3 \times 5 = 60$

$$\frac{116}{8} \times \frac{108}{6} \times \frac{100}{6} \times \frac{60}{6} = 43500.$$

1512. Si donc on place ſur le quatrieme pignon une roue d'échappement qui ait 30 dents, & que le balancier faſſe une vibration par ſeconde, cette roue fera un tour par minute (26) & par conſéquent la roue de fuſée demeurera 30 jours 5 heures à faire une révolution ; ainſi en faiſant faire 12 tours $\frac{1}{5}$ de chaîne à la fuſée, la montre marchera 368 jours 13 h. ſans remonter : maintenant pour faire tourner les aiguilles des minutes & des heures, on le fera de la maniere que je l'ai pratiqué à la montre à équation d'un mois, c'eſt-à-dire, que l'axe du troiſieme pignon portera un pignon de rapport, qui menera la roue des minutes : or ce troiſieme pignon porte la quatrieme roue qui mene le pignon d'échappement; on choiſira la roue de 60 dents, elle reſtera donc 10 minutes à faire un tour ; elle devra donc faire 6 tours pour un de la roue de minute ; ainſi en plaçant ſur l'axe du troiſieme pignon un pignon de 10 ailes qui engrene dans une roue de 60, cette derniere fera un tour par heure : le reſte comme il eſt marqué dans le calibre de la montre d'un mois (*Planche VIII, fig.* 4) & expliqué, art. 328.

Le même rouage peut ſervir pour une pendule d'un an.

1513. Il faut obſerver, par rapport à la diſtribution des dents des premieres roues, lorſque c'eſt des horloges à reſſort, que les roues de barillet, quoique les plus grandes, ne doivent pas être les plus *chargées de nombres*, par la raiſon qu'il faut que les dents ſoient très-fortes pour pouvoir réſiſter au choc violent des reſſorts qui caſſent : cette obſervation n'eſt pas applicable aux montres qui ont des fuſées ; dans ces machines, lorſque le reſſort caſſe, il ne cauſe pas les mêmes accidents.

1514. Il faut auſſi obſerver, par rapport aux dernieres roues d'une montre ou horloge, que pour réduire les frottements à la moindre quantité, il faut tenir ces roues les plus petites qu'il eſt poſſible ; pour cet effet, il faut employer des pignons du moindre nombre d'ailes (& avec leſquels cependant on puiſſe faire de bons engrenages) comme de 6, par exemple ; par ce moyen on diminue le diametre des roues, dans le même rapport que l'on diminue les ailes des pignons. Si par exemple, on a une roue de 60 dents qui mene un pignon de 12 (celui-ci fait 5 tours pour un de la roue) on pourra faire une autre roue qui produiſe le même effet, en conſervant les dents de même groſſeur, & qui ſoit moitié plus petite, en employant un pignon de 6 ; ainſi cette roue devra avoir 30 dents ; elle fera donc faire 5 tours au pignon ; ſi donc on diminue le diametre de cette roue de moitié, comme on a fait des ailes du pignon, elle aura des dents de même groſſeur, produira le même effet que faiſoit celle de 60 ; cette roue ſera donc préférable à la premiere, car elle pourra être également ſolide, & être plus de moitié plus légere, d'où ſuit une diminution de frottement, & une moindre inertie, & par conſéquent une moindre réſiſtance au mouvement.

1515. Quant à la différence de l'engrenage, on ne doit pas en tenir compte, puiſqu'il eſt poſſible de faire un auſſi bon engrenage avec un pignon de 6 qu'avec celui de 12 ; il ne faut pour cela que pratiquer des dents pleines à la roue, & leur donner la figure que l'on a déterminée (1441).

1516. Quant au calcul dont on doit faire uſage pour

trouver des révolutions abſolument exactes, telles que l'exigent les mouvements de ſphere, planiſphere, révolution du ſoleil ou de la lune, nous nous contenterons de renvoyer au *Cours de Mathématique de M. Camus*, au *Traité des Horloges du P. Alexandre*, &c; cet objet ayant été traité mieux que je ne pourrois le faire.

CHAPITRE IX.

Du Pendule ſimple.

1517. On appelle *Pendule ſimple*, un corps dont toute la peſanteur eſt réunie en un ſeul point, & lequel étant ſuſpendu à un fil ſuppoſé ſans peſanteur, peut ſe mouvoir en décrivant des arcs de cercle autour du point où le fil eſt ſuſpendu. Les loix que ſuivent les longueurs des pendules, les temps de vibrations, &c, ont été démontrées par Huighens & par les Auteurs qui ont traité du Pendule d'après lui; voyez Muſſembroech, *Eſſais de Phyſique*, *tome* 1, *page* 201; s'Graveſende, *tome* 1, *page* 102; la Méchanique de Trabaut; celle de M. l'Abbé de la Caille, &c.

Nous rapporterons ici le précis des loix du pendule.

1518. On démontre, 1°, que les pendules qui décrivent des arcs quelconques, font leurs vibrations en des temps qui ſont entr'eux comme les racines quarrées des longueurs des pendules.

1519. 2°, Que les longueurs des pendules ſont entr'elles comme les quarrés des temps des vibrations dans chacun: or plus un pendule eſt long, plus il reſte de temps à faire ſes vibrations; enſorte que ſi les longueurs des deux pendules ſont entr'elles comme 4 & 1, les temps des vibrations ſeront entr'eux comme 2 & 1, racines quarrées de ces longueurs.

1520. D'où il ſuit, que tandis que le pendule 4 fera une vibration, le pendule 1 en fera deux.

1521. Il suit encore, que si ces pendules battent pendant le même temps, les nombres des vibrations seront entr'eux comme 1 est à 2 ; c'est-àdire, réciproquement comme les racines quarrées des longueurs.

1522. Les longueurs de deux pendules sont entr'elles réciproquement, comme les quarrés des nombres des vibrations faites dans le même temps : si donc on connoît les nombres de vibrations que fait un pendule dans un temps donné, & la longueur de ce pendule, on déduira la longueur de tout autre pendule quelconque, si on sait le nombre des vibrations qu'il doit battre en un certain temps ; & réciproquement la longueur d'un pendule étant donnée, on trouvera quel est le nombre de vibrations qu'il fera en un certain temps, ainsi que nous allons le faire voir par des exemples qui serviront à montrer comment la table des longueurs placée à la fin de la seconde Partie a été construite.

1523. Huighens avoit fixé la longueur du pendule à secondes, c'est-à-dire, qui fait 3600 vibrations par heure, à trois pieds horaires qui répondent à trois pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$ *Pied-de-Roi :* & selon les expériences très-précises faites par M. de Mairan, *Mémoires de l'Académie*, année 1735, *page* 202, & par M. Bouguer, rapportées dans les Mémoires de l'Académie, & dans son Livre de la Mesure de la Terre, selon, dis-je, ces expériences, la longueur du pendule simple qui bat les secondes à Paris (*), a été fixée à 3 pieds 8 lig. $\frac{57}{100}$ pied-de-Roi, différence très-petite, puisque le pendule simple qui bat les secondes, n'est que de $\frac{7}{100}$ de lignes plus long, que ne l'avoit trouvé Huighens.

1524. Puisque les longueurs sont en raison réciproque des quarrés des nombres des vibrations faites en un même temps ; c'est-à-dire, que si deux pendules font, l'un, une vibration par seconde, & l'autre deux, la longueur de celui-ci sera 4

(*) Le pendule qui bat les secondes, n'a pas la même longueur dans tous les pays ; il est plus long sous le Pôle & plus court sous l'Equateur ; c'est à M. Richer que l'on doit cette observation ; nous donnerons dans le Chapitre 41, une table des différences des longueurs des pendules, observées dans différentes latitudes.

fois moindre que celle du premier : il suit que la longueur du pendule à demi-secondes, doit être de 9 pouces 2 lignes $\frac{14}{100}$.

PROBLEME I.

La longueur d'un Pendule étant donnée, trouver combien il doit faire de vibrations par heure.

1525. Les nombres d'oscillations faites dans le même temps sont en raison inverse des racines quarrées des longueurs. Supposant donc que la longueur du pendule dont on veut trouver le nombre d'oscillations en une heure, est de 12 pouces, on aura la proportion: La racine quarrée de la longueur du pendule à secondes (supposé de 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$) est à la racine quarrée de celle du pendule donné, comme le nombre cherché x de vibrations de ce pendule est à 3600 vibrations du pendule à secondes; réduisant l'un & l'autre pendule en demi-lignes, on aura $\sqrt{881}$: $\sqrt{288}$: : x: 3600; la racine quarrée de 881 est d'environ 29, 68: & celle de 288 est 16, 97; on a donc la proportion 29, 68 : 16, 97 : : x: 3600 vibrations, on trouve la valeur de $x = 6296$: c'est-à-dire, que le pendule qui a 12 pouces de longueur, fait 6296 vibrations par heure; nous trouvons 4 vibrations de moins par heure, qu'il ne doit faire effectivement, parce que nous n'avons poussé que jusqu'à deux décimales l'extraction de la racine; mais cette approximation est suffisante pour donner une idée de la méthode que l'on doit suivre pour trouver le nombre des vibrations d'un pendule quelconque en un temps donné.

PROBLEME II.

Le nombre des vibrations qu'un Pendule fait par heure étant donné, trouver la longueur de ce Pendule.

1526. Les longueurs des pendules étant entr'elles dans la raison inverse des quarrés des nombres de leurs vibrations dans le même temps, on aura la proportion: Le quarré du nombre

des vibrations du pendule cherché eſt au quarré des vibrations du pendule à ſecondes, comme la longueur du pendule à ſecondes eſt à celle du pendule cherché. Soit donc 1800 le nombre de vibrations que doit faire par heure le pendule cherché, on élevera 1800 au quarré, c'eſt-à-dire, on multipliera ce nombre par lui-même, & ainſi de 3600 vibrations du pendule à ſecondes; & l'on aura 324|0000: 1296|0000:: 3 pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$, & en ôtant les zéros 324: 1296:: 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$: x & 324 étant à 1296, comme 1 eſt à 4, on a 1: 4:: 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$: x; ainſi multipliant les termes moyens, & diviſant par l'extrême connu, on a la valeur de x=12 pieds 2 pouces 10 lig. qui eſt la longueur du pendule, qui fait 1800 vibrations par heure; c'eſt en ſuivant cette méthode que j'ai calculé la Table des longueurs des pendules, miſe à la fin de cette 2e Partie.

1527. Le pendule tel que nous l'avons ſuppoſé, n'exiſte ni ne peut exiſter; car il n'eſt pas poſſible de faire une verge ſans peſanteur, & une lentille ou boule ſans étendue, & dont toute la maſſe ſoit réunie en un ſeul point; or, dès que la verge eſt peſante, & la lentille étendue, le centre d'oſcillation, c'eſt-à-dire, le point du pendule où toute la force eſt réunie, de maniere que ce point puiſſe vaincre la plus grande réſiſtance; ce centre, dis-je, remonte au-deſſus du centre de la boule: or comme c'eſt ce point qui détermine la longueur du pendule ſimple, il faut calculer combien la peſanteur de la verge & l'étendue de la boule ou lentille remontent le centre d'oſcillation du pendule. Nous ne nous arrêterons point ici à traiter du calcul du centre d'oſcillation: ce calcul eſt trop difficile, & deviendroit par-là inutile au plan que je me ſuis propoſé; ceux qui ſeront curieux de voir cet objet, peuvent conſulter le Traité des horloges d'Huighens, s'Graveſende, Muſſembroech, l'Abbé de la Caille, & en général tous les ouvrages de Méchanique moderne.

1528. La conſidération du centre d'oſcillation néceſſaire, comme nous l'avons dit, pour déterminer la longueur du pendule ſimple, eſt abſolument inutile dans l'application du pendule aux horloges; mais une connoiſſance que ce calcul donne

eſt l'avantage qu'il y a d'employer des verges qui ne ſoient pas peſantes, afin que la force du pendule ſoit la plus grande poſſible; car en ſuſpendant une barre de fer ou de métal, par une de ſes extrémités, de maniere à pouvoir oſciller comme un pendule, & que la longueur fût de 660 lignes $\frac{3}{4}$, c'eſt-à-dire, de 4 pieds 7 pouc. $\frac{3}{4}$ lig. chaque vibration de ce pendule ſeroit d'une ſeconde; mais comme un tel pendule auroit beaucoup de ſurface & peu de ſolidité, il éprouveroit une plus grande réſiſtance de la part de l'air.

1529. Il paroîtroit donc en ſuivant la théorie, qu'il ſeroit préférable d'employer un pendule, dont toute la maſſe de la lentille ſoit réunie en un point, & que la verge fût légere; mais nous verrons ci-après que l'on eſt forcé de s'écarter de la théorie, à cauſe des obſtacles cauſés par la matiere dont la verge eſt compoſée; au reſte, il faut obſerver, par rapport à la force du mouvement du pendule, abſtraction faite de la réſiſtance de l'air, qu'elle eſt la même que celle d'un autre pendule auſſi à ſecondes, dont la lentille auroit le même poids réuni en un ſeul point, & la verge ſuppoſée ſans peſanteur; car ſi les parties de la barre en queſtion, qui ſont ſituées près du centre de ſuſpenſion, donnent peu de force de mouvement, vu le peu de vîteſſe qu'elles ont, d'un autre côté les parties de la barre ſituées au-deſſous du centre d'oſcillation en donnent beaucoup, enſorte que le calcul donnera la même force dans l'un ou l'autre cas.

1530. Nous avons trouvé par l'expérience, que dans les horloges à ſecondes, dont la lentille peſe 21 liv. & dont la verge d'acier a 5 lignes de large, 2 d'épaiſſeur, le centre de la lentille deſcend d'environ 3 lignes $\frac{1}{2}$ au-deſſous du centre d'oſcillation, l'horloge étant réglée; & lorſque la lentille peſe 40 liv. $\frac{1}{2}$, & que la verge eſt formée par un canon qui peſe 9 liv. 2 onces, l'horloge étant réglée, le centre de la lentille eſt de 13 lignes $\frac{1}{2}$ au-deſſous du centre d'oſcillation, c'eſt-à-dire, que la diſtance du point de ſuſpenſion à celui de la lentille eſt de 3 pieds un pouce 9 lignes.

Usage de la Table des longueurs des Pendules.

1531. Cette Table est d'une très-grande utilité, car par son moyen on trouve dans l'instant le nombre de vibrations qu'un pendule de longueur donnée doit battre par heure ; ce qui sert à déterminer le nombre des dents du rouage : voulant, par exemple, appliquer à une horloge un pendule qui ait 5 pieds de longueur, on verra dans la Table quel est le nombre de vibrations qui répond à 5 pieds ou le plus approchant, on trouvera 2800 à côté de 5 pieds 8 lignes, c'est-à-dire, que ce pendule fera 2800 vibrations par heure : on trouvera par ce moyen le nombre des dents du rouage convenable à un tel pendule (1471).

1532. Si au contraire on a un rouage donné, & que les nombres des dents soient déterminés, & par conséquent les vibrations, on trouvera dans la table, à côté de cette longueur du pendule, le nombre de vibrations qui lui est convenable.

CHAPITRE X.

Des propriétés du Pendule simple.

1533. ON PEUT établir ici pour principe ou axiôme, qui n'a pas besoin de démonstration. 1°, *Que sans la résistance de l'air, & les frottements de la suspension, un pendule une fois mis en mouvement le conserveroit éternellement.*

1534. 2°, *Qu'en supposant les mêmes choses, ce pendule feroient ses oscillations de même étendue & de même durée, puisqu'anéantissant les résistances de l'air, les effets du chaud & du froid sur le corps qui suspend la lentille seroient nuls ; ainsi les oscillations du pendule seroient isochrones.*

1535. C'est de ce principe que nous partirons, pour établir la maniere la plus avantageuse de construire une Pendule

pour en rendre les oscillations isochrones ; car s'il n'est pas possible d'éviter entiérement la résistance de l'air, les frottements, les effets du chaud & du froid sur la verge du pendule, au moins ferons-nous voir qu'il est possible de les réduire infiniment, & que l'on peut parvenir à composer une horloge, dont les écarts soient infiniments petits, malgré les divers obstacles qui s'opposent à la justesse de ces machines.

1536. Nous allons donc examiner, 1°, la maniere de suspendre un corps, pour que le frottement détruise une moindre partie du mouvement.

1537. 2°, Nous chercherons la forme la plus avantageuse à donner à un corps, pour que les résistances de l'air soient moindres.

1538. 3°, Les expériences que nous rapporterons sur les résistances des corps qui se meuvent dans l'air, serviront à établir les loix de la résistance de l'air.

1539. 4°, Nous calculerons la force requise pour entretenir le mouvement des Pendules, selon qu'ils décrivent des plus grands ou petits arcs ; & nous ferons voir que c'est de la quantité plus ou moins grande de cette force, comparée à la quantité de mouvement du pendule, que dépend la justesse d'une horloge.

1540. 5°, Nous comparerons les longs & courts pendules, afin d'en conclure l'avantage effectif.

1541. 6°, Nous rapporterons les expériences que nous avons faites sur les effets de la chaleur sur tous les corps, & nous déduirons delà le méchanisme le plus avantageux, pour réduire à zéro les effets du chaud & du froid.

1542. Ces différents objets feront la matiere de plusieurs Chapitres ; nous décrirons à mesure les machines que nous avons composées pour faire les expériences que nous rapportons.

1543. Je terminerai cette partie des Pendules par la description de l'horloge astronomique, que j'ai composée d'après les expériences & les principes établis ci-après.

CHAPITRE XI.

De la maniere la plus avantageuſe de ſuſpendre un Pendule, pour lui faire conſerver le plus long-temps un mouvement imprimé.

Deſcription de la Machine propre à faire les Expériences ſur les ſuſpenſions ; & ſur la réſiſtance de l'air.

1544. ON SUSPEND ordinairement les pendules des Horloges par des reſſorts ou par des couteaux. Avant de m'attacher à rendre la ſuſpenſion du pendule la plus parfaite qu'il eſt poſſible, j'ai comparé par l'expérience la ſuſpenſion à couteau avec celle à reſſort : pour cet effet, j'ai exécuté avec beaucoup de ſoin une ſuſpenſion à couteau repréſentée (*Planche XXII, fig.* 1.) à laquelle j'ai ſuſpendu la lentille *A* qui peſe 21 liv. $\frac{1}{4}$.

1545. Sur la piece de fer *B C* qui porte la lentille, eſt attachée en *E* une ſuſpenſion à reſſort. Ces deux ſuſpenſions ſont tellement diſpoſées, que l'on peut alternativement y ſuſpendre le même pendule *A F*; la piece de fer *B C* porte une branche *D D*, dont la partie *G* eſt recoudée pour porter le limbe *H I*: ce limbe eſt diviſé en 10 degrés du cercle; on peut l'écarter ou l'approcher de *G*, ſelon qu'il en eſt beſoin, pour le mettre au-deſſous de la pointe *L* ou *M* du pendule, lorſque celui-ci eſt ſuſpendu par le couteau ou par le reſſort. La piece *a b* qui eſt portée par la ſuſpenſion à couteau, eſt une eſpece d'ancre, dont voici l'uſage. Cet ancre ſert à meſurer la durée des vibrations par les grands ou petits arcs : *a b* fait échappement avec la roue *c* qui a 30 dents; l'axe de cette roue porte une aiguille qui marque par ce moyen les ſecondes

ſur le petit cadran; la roue *c* eſt mue par celle *d*, & celle-ci par la roue *e*, dont l'axe porte un petit cylindre, ſur lequel s'enveloppe une corde qui porte un petit poids, capable ſeulement de faire tourner la roue, tellement qu'à chaque battement du pendule, la roue *c* avance d'une diviſion; cette roue ne reſtitue point de force au pendule; elle ſert uniquement à compter ſes vibrations; ainſi en faiſant parcourir des petits arcs au pendule, on voit de combien cette petite horloge avance; & en faiſant enſuite décrire des plus grands arcs, on voit de combien elle retarde, & ainſi ſucceſſivement en lui faiſant décrire différents arcs. Je ne rapporte point ici les expériences que j'ai faites là-deſſus; il ſuffit de dire que les grands arcs ſont plus de temps à être parcourus, ainſi que la théorie le donne. L'ancre *a b* ſert uniquement pour faire les expériences dont nous venons de parler; il eſt attaché au couteau au moyen d'une vis. Pour faire les expériences ſuivantes, il faut ôter cet ancre qui devient alors inutile.

I. EXPÉRIENCE.

1546. LE pendule *AF* étant ſuſpendu à la ſuſpenſion à couteau; je lui ai fait parcourir l'arc *HI*, qui eſt de 10 degrés; & l'ayant abandonné à lui-même, ſon mouvement a duré 24 heures 13 minutes, pour être réduit à un arc d'un quart de degré.

II. EXPÉRIENCE.

1547. AYANT ſuſpendu le même pendule aux reſſorts, je lui ai fait décrire le même arc *HI*: le mouvement du pendule a été réduit à $\frac{1}{4}$ de degré en 21 heures; ces deux expériences prouvent que la ſuſpenſion à reſſort détruit une plus grande quantité de mouvement que celle à couteau, puiſque c'eſt le même corps dont le mouvement eſt le même, & qu'il éprouve les mêmes réſiſtances de l'air, ayant eu égard à ce que le barometre fût à la même hauteur dans les deux expériences.

1548. Nous rejetterons donc la méthode de ſuſpendre un pendule par des reſſorts comme la plus défectueuſe ; car indépendamment de l'expérience ci-deſſus, il me paroît qu'il pourroit fort bien arriver que le point de mouvement des reſſorts, c'eſt-à-dire, le centre de ſuſpenſion changeât ſelon le plus ou le moins d'élaſticité des reſſorts ; d'ailleurs l'alongement ou le raccourciſſement des reſſorts ne peut être compenſé par la verge, puiſque l'air les frappe avec un effet plus prompt qu'il ne fait la verge. Les reſſorts ſont fort ſujets à être caſſés ; très-difficiles à être rétablis, & plus incommodes pour être tranſportés : enfin les ſuſpenſions à reſſort ont encore un défaut ; c'eſt que le poids de la lentille agit de maniere que la chaleur ayant dilaté le reſſort, le froid ne le raccourcira pas autant que la chaleur l'avoit alongé ; enſorte que l'horloge ira toujours en retardant de plus en plus, ainſi que nous le ferons voir ci-après par l'expérience : nous nous attacherons donc à rendre la ſuſpenſion à couteau ſuſceptible d'une moindre réſiſtance.

1549. Pour y parvenir, il faut obſerver, 1°, le choix de l'acier, le ſens des pores de la rainure par rapport à ceux du couteau, & la dureté de la trempe : 2°, la maniere de former la rainure & l'angle du couteau : 3°, la longueur de l'appui du couteau ſur la rainure relativement au poids de la lentille.

1550. Par rapport à la qualité de l'acier, il faut que les pores en ſoient fins & ſerrés ; que l'acier ſoit le plus pur qu'il eſt poſſible, ſans veine & ſans paille. L'acier eſt formé par des eſpeces de fibres imperceptibles, ſemblables à celles du bois ; ſi donc on poſoit les fibres du couteau dans le ſens des fibres de la rainure, celles-là y engreneroient ; ce qui cauſeroit un très-grand frottement, au lieu qu'en plaçant les fibres de la rainure en travers, le même effet n'arrive pas.

1551. J'ai reconnu par expérience que la trempe en paquet étoit la meilleure, & celle qui donnoit la plus grande dureté ; cette trempe ſe fait en enveloppant de ſuie de cheminée, broyée avec de l'urine, les pieces que l'on veut tremper ; on enveloppe le tout dans une boîte de tôle mince ; on fait

chauffer ce paquet, en le mettant dans du charbon moitié allumé ; on expoſe à l'air le charbon, lequel en s'allumant par degrés, fait chauffer inſenſiblement le paquet, enſorte que les ſels contenus dans la ſuie, s'inſinuent dans les pores intérieurs ; lorſque le paquet eſt bien rouge, & par conſéquent le charbon bien allumé, on ôte très-promptement le paquet, & l'on jette dans l'eau froide la ſuie avec les pieces qu'elle enveloppe.

1552. Une choſe très-eſſentielle à laquelle il faut avoir égard, c'eſt de proportionner la longueur du couteau & ſon appui ſur la rainure à la peſanteur du corps que porte le pendule.

1553. Si, par exemple, on a un couteau dont l'étendue des parties qui poſent ſur la rainure, ſoit de ſix lignes, & deſtiné à ſuſpenſion, qui ſupporte une lentille de 10 livres : ſi enſuite on veut faire une ſuſpenſion pour porter une lentille de 30 livres, il faudra alonger le couteau & ſon appui dans le rapport de 10 à 30 ; de cette maniere, les frottements de la ſuſpenſion qui porte 30 livres, ne ſeront pas plus grands que les frottements de la ſuſpenſion qui porte 10 liv. en ſuppoſant que chaque partie du couteau porte exactement ſur la rainure ; car dans ce cas chaque partie ne portera que le même poids porté par les parties ſemblables de l'autre ſuſpenſion.

1554. Il faut que la rainure & le couteau ſoient tellement exécutés, que lorſque le pendule ſe meut, chaque partie du couteau s'applique exactement ſur la rainure, enſorte que toutes ces parties égales ſupportent le même poids, ce qui diminuera conſidérablement la réſiſtance au mouvement; pour parvenir à cette extrême préciſion, il faut commencer (lorſque le couteau eſt trempé, ainſi que la piece qui le ſupporte) par dreſſer le couteau, de maniere que l'extrémité de l'angle poſe parfaitement ſur une regle d'acier bien dreſſée & adoucie ; pour dreſſer de la ſorte le couteau, on ſe ſervira d'une lime d'acier non trempée, dont on a ôté la taille, qui ſoit parfaitement plate, & dreſſée avec une regle ; on uſera les côtés du couteau avec cette lime, & de la *pierre à l'huile* broyée avec de l'huile ; ces côtés ainſi dreſſés, on paſſera légérement

la même lime ſur l'angle, en arrondiſſant foiblement cet angle qui doit être à peu-près de 45 degrés, ou très-approchant; on terminera les côtés & l'angle du couteau en ſe ſervant de cette lime & de la potée d'étain; ce qui le polira & dreſſera encore mieux.

1555. La rainure dans laquelle ſe meut le couteau, doit être formée par un cylindre d'acier: avant que de tremper ce ſupport, on aura préparé la rainure avec une lime ronde d'environ 2 lignes de diametre; & lorſqu'il ſera trempé, on terminera la gouttiere ou rainure.

1556. Pour y parvenir le mieux qu'il eſt poſſible, on tournera une branche d'acier trempé, de ſorte qu'elle ait 3 lignes de diametre dans toute ſa longueur, c'eſt-à-dire, qu'elle ſoit parfaitement cylindrique; on la laiſſera montée ſur le tour; & l'on appliquera la rainure ſur le cylindre, en mettant de la pierre à huile pour dreſſer au moyen du mouvement du cylindre que l'on roule avec un archet.

1557. Pour éviter que ce cylindre ne fléchiſſe par le poids du ſupport & par la preſſion de la main, il faut prendre une piece de même largeur que le ſupport, &, pour le mieux, un pareil ſupport que l'on placera ſous le cylindre; on preſſera les deux ſupports l'un contre l'autre, & le cylindre tournera entre deux ſans pouvoir ſe courber; de cette maniere la rainure ſe dreſſera le mieux poſſible: on continuera de rouler le cylindre, juſqu'à ce que la rainure ſoit tellement dreſſée, qu'en appliquant le couteau deſſus, celui-ci porte dans toute ſa longueur; cela étant, pour terminer la rainure on ôtera la pierre à l'huile, & on mettra en place, de la potée d'étain qui achevera de la dreſſer & polir.



CHAPITRE XII.

Des résistances qu'éprouve un Pendule qui se meut dans l'air.

I. PROPOSITION.

1558. LORSQU'ON écarte un pendule de son repos, & qu'ensuite on l'abandonne à lui-même, on lui donne une force pour se mouvoir, qui est égale à la somme des efforts que l'on a employés pour lui faire parcourir l'arc qu'on lui fait décrire.

1559. Ainsi plus un pendule sera pesant, & plus la somme des efforts requis, pour lui faire parcourir un arc donné, sera grande, & par conséquent plus aussi la force que le corps aura pour se mouvoir, sera grande.

II. PROPOSITION.

1560. SI on fait mouvoir une lentille *A*, de maniere que son tranchant soit dirigé dans le sens de son mouvement, la durée de ce mouvement sera plus grande que si on la faisoit mouvoir, de sorte qu'elle présentât son plan, ce qui est évident; car nous supposons que dans l'un & l'autre cas on a écarté le pendule de la même quantité; ainsi, selon la proposition 1re, la somme des efforts pour la mettre en mouvement sera égale, puisque c'est le même poids que l'on met en mouvement; elle aura donc la même force pour se mouvoir; mais comme la lentille qui présente son plan, déplace une plus grande quantité d'air, elle perd à chaque vibration une plus grande quantité de son mouvement; lorsqu'elle se meut selon son plan, elle vibre donc moins de temps que lorsqu'elle se meut selon son angle.

1561.

1561. La même chose arrivera, si on fait décrire les mêmes arcs à une lentille & à une boule de même pesanteur, ainsi que nous le verrons ci-après par l'expérience; car ce n'est pas le corps qui a le moins de surface qui se meut plus long-temps, mais celui qui, à poids égal & même espace parcouru, déplace une moindre quantité d'air: or l'air déplacé par la boule est représenté par la surface qui résulteroit, si on coupoit la boule en deux également; cette surface est un cercle qui a pour diametre celui de la boule; c'est donc un grand cercle de cette boule; & l'air déplacé par la lentille est représenté par la surface qui résulteroit, si on coupoit la lentille par son petit diametre, ce qui fait la figure représentée, (*Planche XXII, fig. 6*): or la surface de la section de la lentille est moindre que celle de la sphere, elle déplace donc une moindre quantité d'air; le mouvement de la lentille doit donc se conserver plus long-temps: en suivant le même raisonnement, on verra que plus la lentille sera mince, en conservant le même poids, & moins la surface de la section sera grande; ainsi, plus une lentille sera mince, & plus la durée de son mouvement sera grande. Nous vérifierons ces propositions par l'expérience.

III. PROPOSITION.

1562. SI l'on fait deux lentilles semblables *A* & *B*, mais de grandeurs inégales, & qu'on les mette en mouvement, en leur faisant décrire les mêmes arcs, la durée du mouvement de la lentille *A* (que je suppose plus petite que *B*) sera moindre que la durée du mouvement de la lentille *B*.

1563. Car il est démontré, 1°, que les surfaces de deux corps semblables, sont entr'elles comme les quarrés des diametres, ou de toute autre dimension homologue prise dans chacun; si donc le petit diametre, c'est-à-dire, l'épaisseur de la lentille *A* est 10 fois plus petit que le diametre de la lentille *B*, la surface de la section de la lentille *A* sera à la surface de la section de la lentille *B*, comme le quarré de 1 est

au quarré de 10, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 100.

1564. 2°, On démontre que les ſolidités ou quantités de matiere de deux corps ſemblables, ſont entr'elles comme les cubes de leurs dimenſions de même nom : ſi donc la lentille *A* peſe une livre, ſon poids ſera à celui de la lentille *B*, comme le cube de 1 qui eſt 1, eſt au cube de 10 qui eſt 1000, c'eſt-à-dire, que la lentille *B* ſera mille fois plus peſante que celle *B*.

1565. Or (propoſition 1ere) plus la lentille ſera peſante, & plus l'effort requis pour lui faire décrire un arc donné ſera grand; mais plus auſſi ſa force ſera grande; ainſi la force que l'on a donnée à la lentille *A*, en lui faiſant décrire un arc de 10 degrés, eſt à la force que l'on a donnée à la lentille *B*, pour lui faire parcourir le même arc, comme la peſanteur de la lentille *A* eſt à la peſanteur de la lentille *B*, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 1000; mais on a vu que les réſiſtances de l'air qu'éprouve la lentille *B* eſt à celle de *A*, comme 1 eſt à 100; ainſi la lentille *B* a dix fois plus de force pour vaincre les réſiſtances de l'air que n'a la lentille *A* : la durée du mouvement de la lentille *B* ſera donc 10 fois plus grande que celle de la lentille *A*, en ſuppoſant que les frottements de la ſuſpenſion ſont les mêmes. Cette propoſition démontre l'avantage d'employer une lentille peſante, en faiſant abſtraction des obſtacles que cauſe la matiere dont la verge du pendule & la ſuſpenſion ſont compoſées; mais ces obſtacles, qui ſont en oppoſition à la théorie, ne permettent pas de faire des lentilles fort peſantes, ainſi que nous le ferons voir ci-après. Paſſons maintenant aux expériences que j'ai faites ſur les réſiſtances de l'air.



CHAPITRE XIII.

Des Expériences faites ſur le Pendule libre.

DÉFINITION.

1566. J'APPELLE *Pendule libre*, celui dont les oſcillations ſont indépendantes du rouage, & ſe font par la ſimple impulſion que l'on a donnée en écartant ce pendule de ſon repos ; le pendule libre ne differe du pendule ſimple, que parce que ſa verge eſt peſante & la lentille étendue.

1567. J'ai fait faire une boule ou ſphere qui peſe 21 liv. $\frac{3}{4}$, de même que la lentille du pendule d'expérience, dont on a parlé ci-deſſus (1544); le diametre de la ſphere eſt de 4 pouces 4 lig. la lentille a 7 pouces de diametre, ſon épaiſſeur eſt de 27 lignes ; cette boule s'adapte à la même verge que la lentille; on les ſuſpend alternativement à la même ſuſpenſion, en leur faiſant décrire les mêmes arcs ; & pour que les pendules ſoient toujours de même longueur, on regle leurs vibrations ſur celles d'une horloge à ſeconde : on ne doit faire ces expériences que lorſque le barometre reſte à la même hauteur.

I. EXPÉRIENCE. (*Planche XXII. fig. 1*).

1568. J'AI ſuſpendu la ſphere à la ſuſpenſion à couteau ; lui ayant fait décrire des arcs de 10 degrés, ils ont été réduits à un degré en 13 heures 22 minutes.

II. EXPÉRIENCE.

1569. AYANT ſuſpendu la lentille, & fait décrire les arcs de 10 degrés, ils ont été réduits à un degré en 14 heures 52 minutes ; ainſi la lentille de même poids que la ſphere,

décrivant les mêmes arcs, conserve son mouvement pendant 90 minutes de plus que la sphere.

1570. Le raisonnement & l'expérience prouvent donc également la préférence qu'on doit donner à une lentille sur une sphere, & à une lentille mince sur une plus épaisse; car ayant adapté sur le même pendule une lentille qui pese 21 liv. $\frac{1}{4}$, comme la lentille d'observation, mais dont le diametre étoit de 8 pouces, & l'épaisseur d'un pouce 10 lignes, la durée du mouvement de cette lentille a été plus grande que la durée du mouvement de la lentille précédente.

REMARQUE.

1571. APRE'S avoir répété plusieurs fois les expériences sur la résistance de l'air, je m'apperçus que la lentille ne demeuroit plus le même temps en mouvement, quoique le barometre fût à la même hauteur; ainsi cette différence qui augmentoit à chaque observation, ne pouvoit être causée que par la suspension dont le frottement s'étoit accru par quelque dérangement du couteau : en effet, je démontai la suspension, & trouvai que le couteau s'étoit un peu *égrené*, & la rainure marquée en deux endroits; je dressai de nouveau la rainure & le couteau, & j'employai tout l'art possible, pour faire que chaque point du couteau portât exactement sur la rainure : je remis le pendule en mouvement, en lui faisant décrire des arcs de 10 degrés qui ne furent réduits à $\frac{1}{16}$ de degré, qu'après avoir vibré pendant 42 heures, temps beaucoup plus grand que celui avec lequel il s'étoit mû dans mes premieres observations; enfin je refis un couteau, en employant le meilleur acier d'Angleterre, je l'ai terminé avec beaucoup de soin; & ayant fait décrire 10 degrés au même pendule, il n'a été reduit à $\frac{1}{16}$ de degré, qu'après avoir vibré pendant 2 jours.

1572. On voit par-là, combien il est essentiel de faire une suspension avec les soins que nous avons prescrits (1549 & suiv.) car les frottements de la suspension détruisent au moins une aussi grande quantité du mouvement du pendule, que le fait la résistance de l'air.

1573. Il faut encore obſerver, par rapport à ce changement arrivé à la ſuſpenſion, qu'il n'a pas ſeulement été cauſé par le défaut de l'acier, mais que le grand nombre de fois que j'ai répété mes expériences, en faiſant décrire des grands arcs avec des lentilles peſantes, a néceſſairement cauſé à la ſuſpenſion de grands frottements qui ont aidé à la détruire; car non-ſeulement la ſuſpenſion éprouve d'autant plus de frottement qu'elle eſt chargée d'un plus grand poids, & qu'elle parcourt plus d'eſpace; mais il arrive que plus le pendule décrit de grands arcs, & plus la force centrifuge, qui tend à écarter la lentille de ſon centre, cauſe une grande réſiſtance à ce centre : ainſi les frottements de la ſuſpenſion augmentent dans un plus grand rapport que l'augmentation d'eſpace parcouru : les petits arcs ſont donc préférables par cette raiſon.

1574. Ayant mis la ſuſpenſion du pendule d'obſervation dans le meilleur état poſſible, pour qu'elle reſtât conſtamment la même, malgré le mouvement du pendule, j'ai fait un aſſez grand nombre d'expériences, dont nous rapporterons le précis : ces expériences ſerviront à déterminer en quel rapport les réſiſtances de l'air augmentent, & elles me ſerviront ſur-tout à faire le calcul des forces requiſes, pour entretenir le mouvement d'un pendule, lorſqu'il décrit des grands ou petits arcs, &c.

1575. J'ai diviſé le bord du limbe *HI* (*Pl. XXII. fig.* 1) en 8emes de parties de degrés, c'eſt-à-dire, chaque degré en 8 parties, afin de pouvoir meſurer la diminution des arcs de 7 minutes $\frac{1}{2}$, en 7 minutes $\frac{1}{2}$ de degrés.

III. EXPÉRIENCE.

1576. Ayant fait décrire 10 degrés au pendule avec la lentille d'obſervation :

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à	9 deg. 45 min.	en	9 min. de tems.
9 . . . 45 min.	. . . 9 . . 30	. . .	9
9 . . . 30	. . . 9 . . 15	. . .	9
9 . . . 15	. . . 9 . . 0	. . .	10
Les arcs de 10 deg. ont été réduits à	9 deg. 0 min.	en	37 min.

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. 45 min. en 10 min. de tems.

8	45 min.	8	30	11
8	30	8	15	11
8	15	8	0	12

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. 0 min. en 44 min.

8	0 min.	7	45	12 min.
7	45	7	30	13
7	30	7	15	13
7	15	7	0	14

Les arcs de 8 degrés ont été réduits à 7 deg. 0 min. en 52 min.

7	0 min.	6	45	14
6	45	6	30	15
6	30	6	15	16
6	15	6	0	17

Les arcs de 7 degrés ont été réduits à 6 deg. 0 min. en 62 min.

6	0 min.	5	45	17
5	45	5	30	18
5	30	5	15	19
5	15	5	0	21

Les arcs de 6 degrés ont été réduits à 5 deg. 0 min. en 75 min.

5	0 min.	4	45	23
4	45	4	30	24
4	30	4	15	25
4	15	4	0	27

Les arcs de 5 degrés ont été réduits à 4 deg. 0 min. en 99 min.

4	0 min.	3	45	29
3	45	3	30	31
3	30	3	15	35
3	15	3	0	39

Les arcs de 4 deg. ont été réduits à 3 deg. 0 min. en 134 min.

3	0 min.	2	45	43
2	45	2	30	44
2	30	2	15	51
2	15	2	0	60

Les arcs de 3 deg. ont été réduits à 2 deg. 0 min. en 198 min.

Les arcs de 2 deg. 0 m ont été réd. à 1 degré 45 min. en 69 min. de tems.
1 . . 45 . . . . 1 . . 30 . . . 73
1 . . 30 . . . . 1 . . 15 . . . 82
1 . . 15 . . . . 1 . . 0 . . 111
Les arcs de 2 degrés ont été réduits à 1 deg. 0 min. en 335 min.
1 . . 0 min. . . . 0 . . 45 . . . 142
0 . . 45 . . . . . . 0 . . 30 . . . 228
0 . . 30 . . . . . . 0 . . 15 . . . 380
Les arcs de 1 degré ont été réduits à 0 deg. 15 min. en 750 minutes.

1577. Ainsi les arcs de 10 degrés ont été réduits à un quart de degré en 1786 minutes de temps, c'est-à-dire, en 29 heures 46 minutes.

1578. Les arcs de 15 minutes de degrés ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$, en 8 heures de temps.

REMARQUE.

1579. Cette expérience faite avec toute l'attention possible, peut servir à faire voir les effets de la résistance de l'air : mais nous nous en servirons uniquement ici pour calculer les forces requises, pour entretenir un pendule en mouvement, & en conclure les arcs les plus propres pour rendre les oscillations isochrones, & pour en déduire le meilleur régulateur.

1580. Avant que d'entrer dans ce calcul, nous allons rapporter quelques expériences que j'ai faites sur le pendule libre dont la lentille est légere, & sur le pendule à demi-secondes.

1581. Les expériences que j'ai rapportées ci-devant, ne m'ayant pas paru suffisantes pour fixer une théorie expérimentale sur les pendules libres, j'ai voulu observer ce qui se passe lorsqu'une lentille plus légere est appliquée à la même suspension.

1582. J'ai donc pris une lentille qui a 5 pouces 7 lignes de diametre, 16 lignes d'épaisseur, & pese 7 liv. 5 onces, & bat les secondes comme la précédente; toute la différence entre ces deux lentilles consiste donc uniquement dans les poids & les dimensions de ces lentilles, la suspension étant la même.

IV. EXPÉRIENCE.

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. 45 min. en 5 min. de tems.

9	45 min.	9	30	$5\frac{1}{2}$
9	30	9	15	6
9	15	9	0	6

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. . . en $22\frac{1}{2}$ min.

9	0 min.	8	45	6
8	45	8	30	6
8	30	8	15	7
8	15	8	0	7

Les arcs de 9 degrés ont été réduits à 8 deg. . . . en 26 min.

8	0 min.	7	45	8
7	45	7	30	8
7	30	7	15	8
7	15	7	0	8

Les arcs de 8 degrés ont été réduits à 7 deg. . . . en 32 min.

7	0 min.	6	45	9
6	45	6	30	9
6	30	6	15	9
6	15	6	0	10

Les arcs de 7 degrés ont été réduits à 6 deg. . . . en 37 min.

6	0 min.	5	45	11
5	45	5	30	11
5	30	5	15	12
5	15	5	0	13

Les arcs de 6 degrés ont été réduits à 5 deg. . . en 47 min.

5	0 min.	4	45	14
4	45	4	30	15
4	30	4	15	16
4	15	4	0	16

Les arcs de 5 degrés ont été réduits à 4 deg. . . . en 61 min.

4	0 min.	3	45	17
3	45	3	30	$18\frac{1}{2}$
3	30	3	15	20
3	15	3	0	$22\frac{1}{2}$

Les arcs de 4 degrés ont été réduits à 3 deg. . . . en 78 min.

Les

Les arcs de 3 deg. 0 m ont été réd. à 2 deg. 45 min. en 24 min. de tems.
2 . . 45 . . . . . . 2 . . 30 . . . 26
2 . . 30 . . . . . . 2 . . 15 . . . 30
2 . . 15 . . . . . . 2 . . 0 . . . 33
Les arcs de 3 degrés ont été réduits à 2 deg. . . en 113 min.

2 . . 0 min. . . . 1 . . 45 min. . 35
1 . . 45 . . . . . . 1 . . 30 . . . 45
1 . . 30 . . . . . . 1 . . 15 . . . 60
1 . . 15 . . . . . . 1 . . 0 . . . 70
Les arcs de 2 degrés ont été réduits à 1 deg. . . en 210 min.

1 . . 0 min. . . . . 0 . . 45 min. 90
0 . . 45 . . . . . . 0 . . 30 . . 120
0 . . 30 . . . . . . 0 . . 15 . . 190
Les arcs de 1 degré ont été réduits à . 0 . . 15 min. en 400 min.

1583. Ainsi 10 degrés = 600 min. ont été réduits à 15 minutes en 1026 min. $\frac{1}{2}$ de temps qui font 17 heures 6 min. $\frac{1}{2}$.

1584. Les arcs de 15 minutes ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$ en 240 minutes de temps.

1585. Pour déterminer l'avantage qu'il y a d'employer de longs ou courts pendules, j'ai fait quelques expériences que je dois rapporter. Pour cet effet j'ai adapté la lentille qui a servi à l'expérience précédente à une verge propre à battre les demi-secondes, ou plutôt j'ai coupé la verge du pendule à secondes en trois parties, qui réunies forment le pendule à secondes, & dont celle qui tient à la lentille sert de verge au pendule à demi-secondes.

1586. J'ai suspendu ce pendule à la même suspension, & fait un limbe divisé en 10 degrés du cercle, dont le rayon est la longueur de la verge du pendule.

V. EXPÉRIENCE.

Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. 45 min. en 5 min. de tems.
9 . . . 45 min. . . . 9 . . 30 . . . 5
9 . . . 30 . . . . . 9 . . 15 . . . 6
9 . . . 15 . . . . . 9 . . 0 . . . 6
Les arcs de 10 degrés ont été réduits à 9 deg. . . en 22 min.

Les arcs de	9 deg.	0^{m} ont été réd. à	8 deg.	45^{m}	en 6 min. de tems;
	8	45	8	30	6
	8	30	8	15	7
	8	15	8	0	7
Les arcs de	9 degrés ont été réduits à		8 deg.		en 26 min.
	8	0 min.	7	45 min.	7 $\frac{1}{2}$
	7	45	7	30	7 $\frac{1}{2}$
	7	30	7	15	8
	7	15	7	0	8
Les arcs de	8 degrés ont été réduits à		7 deg.		en 31 min.
	7	0 min.	6	45	8 $\frac{1}{2}$
	6	45	6	30	8 $\frac{1}{2}$
	6	30	6	15	9
	6	15	6	0	10
Les arcs de	7 degrés ont été réduits à		6 deg.		en 36 min.
	6	0 min.	5	45 min.	10 $\frac{1}{2}$
	5	45	5	30	10 $\frac{1}{2}$
	5	30	5	15	11
	5	15	5	0	11
Les arcs de	6 degrés ont été réduits à		5 deg.		en 43 min.
	5	0 min.	4	45 min.	11 $\frac{1}{2}$
	4	45	4	30	11 $\frac{1}{2}$
	4	30	4	15	12
	4	15	4	0	12
Les arcs de	5 degrés ont été réduits à		4 deg.		en 47 min.
	4	0 min.	3	45 min.	14
	3	45	3	30	16
	3	30	3	15	17
	3	15	3	0	18
Les arcs de	4 degrés ont été réduits à		3 deg.		en 65 min.
	3	0 min.	2	45 min.	20
	2	45	2	30	20
	2	30	2	15	22
	2	15	2	0	23
Les arcs de	3 degrés ont été réduits à		2 deg.		en 85 min.

Les arcs de 2 deg. 0 m ont été réd. à	1 deg. 45 min. en	30 min. de tems.		
1 . . 45	1 . . 30	40		
1 . . 30	1 . . 15	50		
1 . . 15	1 . . 0	50		
Les arcs de 2 degrés ont été réduits à	1 deg. . . . en	170 min.		
1 . . 0 min.	0 . . 45 min.	80		
0 . . 45	0 . . 30 . . .	110		
0 . . 30	0 . . 15 . . .	150		
Les arcs de 1 degrés ont été réduits à	0 deg. 15 min. en	340 minutes.		

1587. Les arcs de 10 degrés ou 600 minutes, ont été réduits à 15 minutes en 866 minutes de temps, c'eſt-à-dire, en 14 heures 26 minutes.

I. REMARQUE.

1588. LA même lentille adaptée au pendule à ſecondes, a vibré pendent 1026 minutes $\frac{1}{2}$ ſelon l'expérience (1583), au lieu qu'étant adaptée au pendule à demi-ſecondes, elle eſt reſtée en vibrations de 160 minutes $\frac{1}{2}$ de moins, en partant des mêmes arcs; la raiſon de cette différence vient principalement de ce que le pendule à demi-ſecondes qui parcourt les mêmes arcs; que celui à ſecondes, s'éleve 4 fois moins au-deſſus de ſon repos que ne fait celui à ſecondes, c'eſt-à-dire, que ſon ſinus verſe eſt 4 fois plus petit; & par cette même raiſon la vîteſſe du pendule à ſecondes eſt double de celle du pendule à demi-ſecondes, ainſi ſa quantité de mouvement eſt 4 fois plus grande, il a par conſéquent 4 fois plus de force pour ſurmonter la réſiſtance de l'air, c'eſt ce que j'ai vérifié; car en faiſant décrire au pendule à demi-ſecondes des arcs de 20 degrés, ils ont été réduits à 10 degrés en 150 minutes, ou très-peu-près : ainſi il arrive que ſi un pendule à demi-ſecondes décrit des arcs doubles, c'eſt-à-dire, qu'il ait la même vîteſſe que le pendule à ſecondes avec la même lentille, (& par conſéquent la même force de mouvement), il vibre preſque auſſi long-temps que le pendule à ſecondes, de ſorte que la réſiſtance de la ſuſpenſion n'eſt pas ſi grande que je l'avois

cru d'abord, ce qui eſt dû à la légéreté de la lentille; car le frottement de la ſuſpenſion étant double de celui du pendule à ſecondes, il n'a cependant diminué que de 10 minutes ſur 1026, la durée de la marche de celui à demi-ſecondes.

II. REMARQUE.

1589. NOUS obſerverons ici le peu d'avantage que donne une lentille trop peſante; car ayant fait décrire au pendule aſtronomique, dont nous parlerons Chap. *39* (ſa lentille peſe *63* liv.) des arcs de 15 minutes, ils ont été réduits à 7 min. $\frac{1}{2}$ en 8 heures de temps, c'eſt-à-dire, dans le même temps que le pendule de 21 liv. a employé depuis les arcs de 15 minutes à 7 min. $\frac{1}{2}$; ſa lentille peſante n'a donc produit aucune différence dans ces petits arcs; il eſt vrai que dans les grands arcs cette différence eſt plus ſenſible; mais comme les lentilles peſantes ne ſont pas faites pour décrire des grands arcs, ce qui détruiroit promptement la ſuſpenſion, & par la même raiſon l'iſochroniſme des vibrations, on ne doit pas mettre cet avantage en ligne de compte; ce n'eſt pas par-là ſeulement qu'une lentille trop peſante eſt défectueuſe.

1590. ON voit que malgré les principes établis (1565), une lentille peſante ne conſerve pas plus long-temps ſon mouvement, que celle dont la peſanteur eſt moyenne, comme celle de 21 liv. ou au plus de 30 liv. Nous expliquerons ici la cauſe de cet effet; nous avons dit, en parlant de la ſuſpenſion du pendule (1553), qu'il falloit augmenter l'étendue de la ſuſpenſion à proportion de l'augmentation du poids qu'elle doit porter, & nous avons ſuppoſé que chaque point du couteau s'applique exactement, & eſt porté par un point de la rainure; mais comme cette ſuppoſition ne peut preſque jamais exiſter, & que c'eſt le comble de la difficulté, malgré les ſoins extrêmes que l'on prendra, il arrivera toujours que les couteaux ne porteront que ſur quelques points, enſorte que ces points ſeront chargés de tout le poids de la lentille, ce qui les affaiſſera, & détruira la liberté du mouvement; on ne peut donc vaincre

cette difficulté, à moins que l'on ne se serve d'une matiere infiniment plus dure que l'acier, & qui soit moins poreuse; il faut même supposer que l'on pourra faire un couteau de cette matiere, sans quoi on ne gagneroit rien; l'extrême difficulté que j'ai voulu vaincre pour avoir une lentille pesante, est donc en pure perte pour la suspension; nous ferons voir que ce n'est pas par-là seulement que le grand poids d'une lentille est défectueux.

CHAPITRE XIV.

De la force requise pour entretenir le mouvement d'un Pendule, selon que les arcs qu'il décrit sont grands ou petits : Comparaison de cette force avec la quantité de mouvement du pendule dans ces différents cas.

PROBLEME I.

Trouver la force qui seroit requise pour entretenir le mouvement d'un Pendule à secondes, dont la lentille pese 21 liv. $\frac{1}{4}$ & décriroit 10 deg.

1591. SELON l'expérience rapportée, (1576), on voit qu'un tel pendule qui décrit 10 degrés, est réduit à 9 deg. 45 min. en 9 min. de temps; ainsi, pour entretenir le mouvement de ce pendule, il faut élever à chaque 9 min. de temps la lentille depuis 9 deg. 45 min. à 10 deg. Pour trouver la quantité dont la lentille est plus élevée au-dessus de son centre de repos, lorsqu'elle décrit 10 degrés, que lorsqu'elle décrit 9 deg. 45 min. il faut soustraire le sinus verse de 9 deg. 45 min. du sinus verse de 10 degrés, l'excès marquera

combien la lentille eſt moins élevée en décrivant 9 degrés 45 minutes. On doit ſavoir, que pour avoir le ſinus verſe de 10 deg. il faut ôter du rayon le ſinus de 80 degrés: & pour avoir le ſinus verſe de 9 deg. 45 min. il faut de même ôter du rayon le ſinus de 80 deg. 15 minutes. Par exemple, le ſinus de 80 deg. (complément de 10 deg.) eſt 98480; l'ôtant du ſinus total 100000, il reſte 1520 ſinus verſe de 10 degrés. Le ſinus de 80 deg. 15 min. ou le coſinus de 9 deg. 45 min. eſt 98555; l'ayant ſouſtrait du rayon, on a 1445 ſinus verſe de 9 deg. 45 min. cela poſé de 1520 ſinus verſe de 10 degrés, ôtez 1445 ſinus verſe de 9 deg. 45 min. reſte 75: ainſi la quantité cherchée eſt $\frac{75}{100000}$ de la longueur du pendule; c'eſt-à-dire, que ſi le pendule étoit diviſé en 100000 parties, la lentille devroit être remontée de 75 de ces parties à chaque 9 min. de temps.

1592. Il faut maintenant convertir ce rapport en parties d'une meſure connue. Le pendule à ſecondes eſt de 3 pieds 8 lig. $\frac{57}{100}$ (1523); c'eſt-à-dire, de 44057 centiemes de lignes: ainſi, pour trouver de combien de centiemes de lignes il faudroit remonter la lentille, on fera la proportion:

$$100000 : 75 :: 44057$$

$$\begin{array}{r} 44057 \\ 75 \\ \hline 220285 \\ 308399 \\ \hline 3304275 \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 3304275 & 100000 \\ 304275 & 33 \end{array}$$

On trouve pour quotient 33, qui exprime $\frac{33}{100}$ de lignes, ou environ $\frac{1}{3}$ de lig. quantité dont la lentille eſt moins élevée lorſqu'elle décrit 9 deg. 45 min. que lorſqu'elle décrit 10 degrés.

1593. C'eſt donc un poids de 21 liv. avec $\frac{1}{3}$ de ligne de deſcente qu'il faut employer à chaque 9 minutes. Réduiſant 21 liv. en grains, on a 193536. Réduiſant auſſi 9 minutes de temps en ſecondes, on a 540, qui étant diviſé par 193536, donne pour quotient la force qu'il faudra reſtituer au pendule à chaque ſeconde pour l'entretenir en mouvement

en parcourant 10 degrés.

$$\begin{array}{r|l} 1935{,}36 & 540 \\ \cline{2-2} 3153 & 358\frac{216}{540} \\ 4536 & \\ 216 & \end{array}$$

1594. C'eſt donc 358 grains $\frac{2}{5}$, avec une deſcente de $\frac{1}{3}$ de ligne qu'il faut reſtituer au pendule à chaque ſeconde, pour lui faire décrire des arcs de 10 degrés.

1595. Si on adaptoit auprès de ce pendule un rouage qui eût une roue d'échappement de 30 dents, cette roue feroit un tour par minute : or ſi on faiſoit la circonférence de cette roue de 20 lignes, elle parcourroit à chaque battement du pendule $\frac{1}{3}$ de ligne ; ainſi il faudroit appliquer à la circonférence de cette roue une force de plus de 358 grains $\frac{2}{5}$, ſans compter la perte de la force de la roue ſur la piece d'échappement; ſi on faiſoit la roue de 40 lignes de circonférence, elle parcourroit 2 fois plus d'eſpace, ainſi la force qu'elle exigeroit à la circonférence, devroit être deux fois plus petite.

II. PROBLEME.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement du même Pendule, lorſqu'il décrit des arcs d'un degré.

1596. IL FAUT ſuivre la même méthode de calcul, en remarquant que les arcs d'un degré ont été réduits à 0 deg. 45 minutes en 142 min. de temps (1576).

1597. Le calcul fait, on trouve qu'il faut un poids d'environ 23 grains, qui ait $\frac{3}{100}$ de lig. de deſcente ; c'eſt-à-dire, à peu-près $\frac{1}{3}$ de ligne de deſcente avec un poids de 2 grains $\frac{3}{10}$

REMARQUE.

1598. ON voit par-là combien eſt grande la différence de force requiſe, pour entretenir le mouvement du même pendule qui décrit de plus grands ou plus petits arcs, puiſque lorſqu'il décrit 10 degrés, il faut 358 grains $\frac{2}{5}$, & $\frac{1}{3}$ de lig.

de descente ; & lorsqu'il décrit un degré, il ne faut que deux grains $\frac{3}{10}$ avec la même descente ; c'est-à-dire, qu'il faut 157 $\frac{9}{23}$ fois plus de force pour entretenir le pendule qui décrit 10 deg. qu'il n'en faut pour entretenir le même pendule lorsqu'il décrit un degré.

1599. Il suit delà que, si l'on vouloit qu'un pendule qui décrit des arcs d'un degré, fût mu par la même force qui seroit requise pour entretenir les arcs de 10 degrés, il faudroit que la lentille fût 157 $\frac{9}{23}$ fois plus pesante.

1600. Il suit encore delà qu'il ne faut pas simplement augmenter la pesanteur de la lentille en raison inverse du quarré des arcs qu'elle parcourt, mais dans un plus grand rapport ; car, selon ce principe, pour qu'une lentille qui décrit des arcs d'un degré exigeât la même force pour en entretenir le mouvement, que lorsqu'elle en décrit 10, il faudroit que le poids de la lentille, lorsqu'elle décrit un degré, fût à celui qu'elle a, lorsqu'elle en décrit 10, comme 100 est à 1 : or selon le calcul que nous venons de faire d'après nos expériences, elle doit être comme 157 $\frac{9}{23}$ est à 1, sans quoi le pendule ne seroit plus le régulateur du rouage ; car on voit qu'un tel pendule décrivant des petits arcs, descend par un plan infiniment peu incliné, & que sa force de mouvement est très-petite : il ne faut donc pas s'imaginer qu'il suffise d'adapter à une machine un pendule long & pesant ; il faut de plus que la force motrice soit proportionnelle à la perte de mouvement que fait le pendule à chaque oscillation, lorsqu'il est abandonné à lui-même, & dont les vibrations se font par la seule impulsion qu'on lui aura donnée ; étant très-essentiel, qu'après avoir adapté un rouage, celui-ci ne dérange pas l'isochronisme des vibrations. Nous traiterons cet objet plus au long, en parlant des moyens de rendre isochrones les pendules qui sont mus par des forces motrices variables, comme sont les ressorts.

1601. Avant que de passer plus loin, comparons les forces de mouvement d'un même pendule qui décrit des arcs différents ; comparons de même les forces requises pour l'entretenir dans l'un & l'autre cas. Reprenons le pendule qui décrit 10 degrés.

1602. La force de mouvement d'un corps employé à vaincre des obſtacles, eſt le produit de la maſſe par le quarré de la vîteſſe ou de l'eſpace parcouru ; ainſi pour comparer la quantité du mouvement d'un même pendule, il ſuffit de comparer les quarrés des arcs, puiſque les produits ſont multipliés par la même maſſe qui eſt la lentille ; la quantité de mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, eſt donc à celle de ce même pendule qui en décrit un, comme le quarré de 10 eſt au quarré de 1, c'eſt-à-dire, comme 100 eſt à 1 ; d'où l'on voit que le pendule qui décrit 10 degrés, a 100 fois plus de force pour vaincre les obſtacles qui s'oppoſent à ſon mouvement, que n'a le pendule qui décrit un degré pour vaincre ces mêmes obſtacles ; mais la force requiſe pour entretenir le mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, doit être 159 $\frac{9}{23}$ fois plus grande que pour celui qui décrit un degré ; ainſi les changements arrivés dans cette force, cauſeront des écarts beaucoup plus grands que ceux qui ſeroient produits par la moindre force : par cette ſeule raiſon & indépendamment des autres conſidérations, un pendule qui décrit de petits arcs eſt préférable à celui qui en décrit de grands.

PROBLEME III.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement du Pendule, lorſqu'il décrit 15 min. ou $\frac{1}{4}$ de degré.

1603. ON trouve par le calcul, qu'un pendule qui décrivoit des arcs de 15 min. ayant été réduit à 7 min. s'éleve moins haut à 7 min. qu'à 15 min. de 0, 003 ligne : or, ſelon nos expériences, un tel pendule emploie 8 heures ou 28800 ſecondes de temps à diminuer les arcs qu'il décrit depuis 15 min. juſqu'à 7 ; diviſant donc le poids de la lentille par ce nombre de ſecondes, on trouve pour quotient grains 6,72, avec lig. 0,003 de deſcente par ſecondes ou lig. 0,033, & grain 0,61, c'eſt-àdire, lig. 0,33 & grain 0,061 : or, on a trouvé par le premier problême, que pour entretenir le mouvement du

pendule qui décrit 10 degrés, il faut ligne 0,33 de descente & 358 grains $\frac{2}{5}$ = 358,40; c'est-à-dire, qu'il faut 5875 $\frac{21}{61}$ fois plus de force pour entretenir le mouvement du pendule qui décrit 10 degrés, que pour celui qui décrit $\frac{1}{4}$ de degré.

REMARQUE.

1604. CETTE différence prodigieuse sert à nous prouver combien il est important de proportionner la force motrice aux arcs que parcourt le pendule, & au poids de la lentille, &c. C'est par cette raison qu'il est très-difficile, pour ne pas dire impossible, de le faire dans les horloges à ressort, n'étant pas maître d'augmenter ou de diminuer la force du ressort, selon qu'il est besoin; au lieu que dans les horloges à poids, on met d'abord le pendule en mouvement, en ne lui faisant parcourir que les arcs de levée, & l'on n'adapte qu'un moteur suffisant pour entretenir les arcs, sans augmenter que peu leur étendue. On ne doit pas craindre de mettre cette force motrice trop petite; ce qui s'appercevroit par la diminution des arcs, & par le pendule qui arrêteroit. Si on ne peut pas donner des regles absolues des forces qu'il faut employer selon les différentes lentilles & les différents arcs parcourus; il est au moins constant que la meilleure méthode est de proportionner la force motrice, comme nous venons de le dire.

1605. Il n'est pas possible de déterminer par le calcul la force requise, pour entretenir un pendule quelconque en mouvement, à moins que l'on ne fasse expérience de la diminution de ses arcs, comme nous l'avons fait; car cette diminution des arcs varie, non-seulement selon le plus ou moins de pesanteur de la lentille, selon sa forme, mais sur-tout, selon qu'il est suspendu, ensorte que l'on ne peut pas assigner des regles générales là-dessus; & quand même on pourroit le faire, ceux qui exécutent nos horloges sont rarement en état d'appliquer ces calculs; il vaut mieux leur donner des regles qui tiennent à l'expérience.

1606. Nous répéterons ici une observation dont nous

avons déja parlé à la ſuite du premier problême : c'eſt que ſi les forces requiſes pour entretenir le même pendule, étoient, comme quelques perſonnes l'ont prétendu, en raiſon inverſe des quarrés des arcs, on auroit la proportion ſuivante pour le pendule qui décriroit 10 degrés ou $\frac{1}{4}$ de degré : La force qu'il faut pour entretenir les arcs de 15 minutes, eſt à la force requiſe pour entretenir les arcs de 10 degrés, comme le quarré de 15 minutes eſt au quarré de 10 degrés = 600 min. c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 1600 ; au lieu que nous avons trouvé par le calcul fondé ſur l'expérience, que cette force doit être comme 1 eſt à $5875\frac{25}{61}$.

1607. Pour qu'un pendule pût être mu par la même puiſſance, ſoit qu'il décrivît des arcs de 15 min. ou de 600 min. il faudroit que la peſanteur de la lentille, lorſqu'il décrit des arcs de 15 min. fût au poids de la lentille, lorſqu'il en décriroit 600, comme $5875\frac{25}{61}$ eſt à 1 ; de cette maniere, elle auroit même relation avec la force motrice dans l'un ou l'autre cas ; au lieu qu'en ſuivant le principe des forces, elle auroit dû être comme 1600 eſt à 1 : on n'a donc pas établi des loix qui ſoient d'acord avec l'expérience.



CHAPITRE XV.

Suite du Calcul ſur le Pendule libre.

PROBLEME I.

Trouver la force requiſe pour entretenir le mouvement d'un Pendule à ſecondes, qui décrit 10 degrés, & dont la lentille peſe 7 liv. 5 onces, pour ſervir à comparer avec la force employée à entretenir le mouvement du Pendule, dont la lentille peſe 21 liv.

1608. NOUS AVONS trouvé problême I. (1592), que l'excédent du ſinus-verſe de 10 deg. ſur celui de 9 d 45 min. eſt de 0,33 lig. or, ſelon l'expérience rapportée (1582), ce pendule dont la lentille peſe 7 liv. 5 onces, reſte 5 min. de temps, depuis les arcs de 10 deg. à ceux de 9 deg. 45 m, c'eſt-à-dire, qu'a chaque 5eme min. il faudroit élever la lentille de ligne 0,33 ; diviſant donc 67392 grains, que peſe la lentille, par 300 ſecondes, on aura la force qu'il eſt néceſſaire de reſtituer à chaque ſeconde au pendule, pour l'entretenir en mouvement ; on trouve pour quotient 224,64 grains, & ligne 0,33 : or nous avons trouvé, problême premier, que pour entretenir le mouvement du pendule, dont la lentille peſe 21 liv. il faut un poids de 358,40 grains, avec ligne 0,33 de deſcente ; la force qu'il faut pour entretenir la lentille qui peſe 7 liv. 5 onces, eſt donc à celle qu'il faut pour la lentille 21 liv. comme 224,64 eſt à 358,40 ; mais la quantité de mouvement de la lentille légere eſt à la quantité de mouvement de l'autre, comme 7 liv. 5 onces eſt à 21 liv. Je dis comme le poids des lentilles, par la raiſon qu'elles ont même vîteſſe ; or s'il y avoit même avantage à ſe ſervir de l'une & de l'autre

lentille, il faudroit que ces quatre quantités fussent en proportion, c'est-à-dire, que 224,64 fût à 358,40, comme 117 est à 336. Mais il s'en faut de beaucoup que cela ne soit ainsi ; car la force requise pour entretenir la petite lentille, est beaucoup plus grande relativement à sa quantité de mouvement, que n'est la force requise pour entretenir la grande lentille relativement à sa quantité de mouvement.

1609. Ainsi on voit, que quoique la force requise pour entretenir la petite lentille, soit moins grande que celle qu'il faut pour entretenir la lentille pesante ; comme la quantité de mouvement de la grande est beaucoup plus considérable que celle de la petite, il est préférable de se servir d'une lentille pesante.

1610. On tirera donc de ce qui précede une regle générale pour un régulateur quelconque ; *c'est que plus sa quantité de mouvement sera grande, relativement à la force requise pour en entretenir le mouvement, plus ce régulateur sera puissant ;* c'est-à-dire, capable de détruire & réduire les effets de l'air, des frottements, &c. condition requise pour l'isochronisme des vibrations.

REMARQUE.

1611. CETTE lentille légere est précisément une de celles dont on faisoit usage, lorsqu'on a commencé à adapter les lentilles aux horloges : or on voit qu'il falloit une force considérable à la circonférence de la roue d'échappement pour entretenir le mouvement de cette lentille, dont les arcs étoient au moins de 10 degrés. En supposant que cette roue fût de telle grandeur, qu'à chaque battement du pendule elle parcourût 0,33 lignes, elle devoit avoir à sa circonférence une force de 224,64 grains, & cela en supposant que le pendule étoit suspendu, de maniere que la résistance ou frottement de la suspension ne causoit pas plus de perte de mouvement que ne fait celle dont je me sers, ce qui n'étoit sûrement pas ; car on employoit des suspensions à ressort qui, comme nous l'avons fait voir, détruisent une plus grande quantité de la force du

pendule ; ainsi nous pouvons bien assurer que, pour entretenir le mouvement de leurs pendules, il falloit le double de la force que nous avons trouvée : or la roue d'échappement ayant une telle force à sa circonférence, causoit de très-grands frottements sur ses pivots; & comme d'ailleurs les roues que l'on faisoit alors étoient fort grandes & pesantes, les pivots mal ronds, gros, &c, il arrivoit nécessairement que les quantités de frottement, l'épaississement des huiles, &c, changeoient l'action de la roue d'échappement sur le pendule, & que celui-ci, au-lieu de 10 degrés qu'il décrivoit d'abord, n'en décrivoit que 9; après ces changements; cette inégalité des arcs parcourus par le pendule, dérangeoit nécessairement l'isochronisme de ses vibrations. Ce fut pour remédier à cette difficulté, que le célebre Huighens adapta à la piece de suspension du pendule des lames pliées en cicloïdes : l'effet de ces portions de cicloïdes étoit tel, que le fil qui suspendoit le pendule s'appliquoit sur ces courbes, ensorte qu'à mesure qu'il décrivoit de plus grands arcs, il devenoit plus court; ainsi ses vibrations s'achevoient toujours dans le même temps. Mais on a reconnu depuis l'inutilité de la cicloïde ; car les petits arcs de cercles, (comme on le voit dans l'ouvrage même de M. Huighens) ne different que peu des petits arcs semblables de cicloïde; on a donc fait des pendules qui décrivent de plus petits arcs.

Probleme II.

Comparer la force de mouvement du Pendule à secondes, avec celui à demi-secondes, qui decrit les mêmes arcs, & dont la lentille est de même pesanteur.

1612. Les arcs parcourus par le pendule à demi-secondes, & par le pendule à secondes étant semblables, l'espace parcouru par le pendule à secondes est à l'espace parcouru par le pendule à demi-secondes en même raison que leur longueur, c'est-à-dire, comme 4 est à 1 ; mais comme le court pendule fait deux battements pour un du grand, il

faut doubler l'eſpace qu'il parcourt ; ainſi la vîteſſe du pendule à ſecondes eſt à la vîteſſe du pendule à demi-ſecondes, comme 4 eſt à 2 ; or la quantité de mouvement ou d'action d'un corps, étant le produit de la maſſe par le quarré de la vîteſſe, ſi on multiplie 16, quarré de la vîteſſe du pendule à ſecondes, par le poids de la lentille, on aura pour produit un nombre qui exprimera la quantité de mouvement du pendule à ſecondes ; multipliant de même 4, quarré de la vîteſſe du pendule à demi-ſecondes, par le poids de la lentille, le produit marquera la quantité de mouvement du court pendule. Mais comme la lentille eſt la même dans l'un & l'autre pendules, les produits des quarrés des vîteſſes par la même quantité, ne changeront pas de rapport ; ainſi la quantité de mouvement du pendule à ſecondes, eſt à la quantité de mouvement du court pendule, comme 16 eſt à 4, ou comme 4 eſt à 1 (*).

REMARQUE.

1613. Il faut obſerver que le pendule à ſecondes & le pendule à demi-ſecondes, ayant employé le même temps à ſe mouvoir librement depuis les arcs de 10 degrés juſqu'à ceux de 9 deg. 45 min. & la lentille étant d'ailleurs la même, il faut 4 fois plus de force pour entretenir le mouvement du pendule à ſecondes que pour celui à demi-ſecondes ; car celui-ci étant quatre fois plus court, ſon ſinus-verſe diminue en même raiſon, d'où il ſuit que l'un & l'autre pendules ſont également propres à ſervir de régulateur.

1614. Cependant nous croyons que le pendule qui bat les ſecondes eſt préférable à celui qui fait deux battements par ſecondes ; 1°, parce que la réſiſtance de la ſuſpenſion eſt moindre que dans le pendule à demi-ſecondes : 2°, parce que le pendule à ſecondes eſt très-propre pour les obſervations, pour compter les parties du temps : 3°, parce que la lenteur de ſes vibrations rend le rouage plus ſimple & moins chargé de

(*) Si on vouloit que ce pendule à demi-ſecondes eût autant de force de mouvement que celui à ſecondes, il faudroit doubler l'étendue de ſes arcs, ou bien quadrupler le poids de la lentille.

dents ou de révolutions, ce qui diminue les frottements.

1615. Nous le croyons préférable à un grand pendule; par la raison qu'il est plus facile à construire, & procure au moins la même justesse, ensorte que nous regardons le pendule à secondes, comme celui qui réunit le plus d'avantages : je ne prétends pas cependant dire que l'on ne puisse faire de bonnes machines avec de plus longs & de plus courts pendules.

PROBLEME III.

De la force requise pour entretenir le mouvement du Pendule, dont la lentille pese 63 liv.

1616. NOUS avons trouvé (1589) que le pendule de l'horloge astronomique qui décrit les arcs de 15 minutes, a été réduit à 7 min. en 8 heures de temps, c'est-à-dire, en 28800 secondes, & nous avons vu (1603) qu'un pendule s'éleve moins au-dessus de son repos, dans les arcs de 7 min. qu'à ceux de 15 min. de 0,003 lignes.

1617. Si nous divisons le poids de la lentille du pendule astronomique par le nombre 28800, nous aurons la force requise pour entretenir le mouvement de ce pendule; sa lentille pese 63 liv. qui font 1008 onces = 8064 gros = 580608 grains; nous trouverons pour quotient 20 grains : c'est donc 0,003 lignes de descente, & 20 grains par secondes qu'il faut employer pour entretenir le mouvement de ce pendule, ce qui égale $\frac{3}{10}$ de descente, & $\frac{20}{100}$ de grain, c'est-à-dire, environ $\frac{1}{3}$ ligne de descente & $\frac{1}{5}$ de grain de force.

1618. Pour comparer la force requise pour entretenir le mouvement du pendule astronomique avec la force requise pour entretenir le mouvement du pendule de 21 liv. il faut faire attention qu'ils ont employé le même temps l'un & l'autre en partant des arcs de 15 min. pour être réduits à ceux de 7 min.

1619. Et comme ces pendules ont même longueur, la différence des sinus-verses des arcs parcourus est la même; ainsi les

les forces requiſes pour entretenir les mouvements de ces pendules, ſont entr'elles comme les poids des lentilles, c'eſt-à-dire, que la force pour entretenir le mouvement de la lentille de 21 liv. lorſqu'elle décrit des arcs de 15 min. eſt à la force requiſe pour entretenir la lentille peſant 63 liv. qui décrit les mêmes arcs, comme 21 eſt à 63 : les quantités de mouvement des deux pendules ſont donc entr'elles comme leurs poids.

1620. D'où il ſuit que ces deux pendules en décrivant des arcs de 15 min. ſeront également propres à meſurer le temps : car ſi d'un côté la lentille peſante éprouve moins de variations par l'air (à cauſe de ſa peſanteur), de l'autre elle ſera plus ſuſceptible des variations cauſées par les inégalités de force motrice, ainſi tout ſera compenſé.

REMARQUE.

1621. NOUS avons conſidéré juſques ici la force qu'il faut reſtituer au pendule pour entretenir ſon mouvement, comme ſi elle ſe communiquoit ſans perte; or cela n'arrive pas en effet; car le frottement de la roue avec la piece déchappement diminue néceſſairement ſa force, enſorte que la force que nous avons trouvée par ce calcul n'eſt pas ſuffiſante, & qu'il faut en ajouter le ſurplus pour les frottements de l'échappement.

1622. Nous devons auſſi obſerver par rapport aux pendules qui décrivent des arcs infiniment petits, qu'il n'eſt preſque pas poſſible de ne donner plus de force qu'il n'eſt beſoin à la roue d'échappement ; car 1°, ſi cette roue porte une aiguille des ſecondes, il faut que la force motrice ſoit telle que la roue tende à tourner avec une plus grande vîteſſe que la piece d'échappement, ſans quoi l'aiguille retarderoit la vîteſſe de la roue, enſorte que la piece d'échappement ſe ſouſtrairoit à l'action de la roue qui ne pourroit reſtituer le mouvement au pendule ; & dans cette ſuppoſition, lorſque la piece d'échappement rentreroit dans l'intervalle des dents, elle arcbouteroit ſur le derriere des dents : or l'aiguille de ſe-

condes résiste au mouvement, & par son inertie, & par sa longueur qui éprouve une résistance de l'air. Ainsi pour que la roue d'échappement tourne avec cette vîtesse requise dont nous venons de parler, il faut une force motrice qui soit d'autant plus grande que l'aiguille sera longue & pesante; il faudra donc que la force de mouvement de la roue d'échappement soit beaucoup plus grande qu'il n'est besoin, pour restituer les oscillations du pendule; & cette force peut être telle, que si c'est un échappement à repos, elle dérangera l'isochronisme du pendule, par la raison que, dans le repos, la roue agira avec toute la force, & tendra à retarder les vibrations du pendule; & dans l'instant de l'impulsion, l'inertie de l'aiguille retardera la vîtesse de la roue, ensorte que celle-ci ne communiquera qu'une partie de sa force.

1623. 2°, Cette force infiniment petite d'une roue d'échappement, abstraction faite de l'obstacle dont nous venons de parler, sera entiérement, ou très à peu-près, détruite par le froid; car la résistance que les huiles gelées causeront, pourroit être telle qu'elle détruisît la tendance des roues au mouvement; ainsi il faudra doubler ou tripler le poids, afin que l'horloge n'arrête pas par le froid, de sorte qu'en été la force motrice sera deux ou trois fois plus grande qu'il ne faut: nous aurons encore occasion de parler des effets de l'huile; nous y renvoyons.

1624. Nous avons déja touché quelque chose en passant du peu d'avantage qu'il y a d'employer des lentilles trop pesantes; nous traiterons encore cet objet ci-après, en parlant de la dilatation des métaux; & nous venons de voir que les petits arcs décrits par un pendule sont très défectueux; on s'est donc un peu trop pressé de faire des pendules pesants avec de trop petits arcs. J'espere que je traiterai cet objet de maniere à ne rien laisser à desirer, en établissant de telles limites, qu'on ne pourra s'en écarter sans faire de mauvaises machines; à moins que l'on ne parvienne à trouver une matiere quelconque qui soit moins susceptible de destruction, d'affaissement, &c.

CHAPITRE XVI.

Des Pendules qui ſont mus par l'action inégale des Reſſorts (*).

Différence des oſcillations du Pendule libre, avec le même Pendule mu par une force motrice variable, & ſelon la nature de l'échappement.

1625. NOUS avons conſidéré juſqu'ici le *Pendule libre*; c'eſt-à-dire, celui qui ſe meut par l'impulſion qu'on lui a communiquée, ou qui eſt entretenu en mouvement par une force proportionnelle à ſa perte de mouvement, qui d'ailleurs eſt conſtante. Nous allons maintenant rechercher la nature des oſcillations du pendule, auquel on a adapté une force motrice variable & non proportionnelle ; & nous ferons voir qu'en appliquant à un pendule un rouage pour en entretenir le mouvement, les oſcillations de ce pendule deviennent d'une plus longue ou plus courte durée, ſelon la nature de l'échappement que l'on employe.

PROPOSITION.

1626. 1°, SI l'échappement eſt à repos, les oſcillations du pendule ſeront plus lentes, car la preſſion de la dent ſur le

(*) Dans les courts pendules, on peut en rendre les oſcillations à peu-près iſochrones, en employant des lentilles fort peſantes, bien ſuſpendues, & qui décrivent des petits arcs, quelle que ſoit la nature de l'échappement que l'on employe ; mais outre que ces machines exigent plus de dépenſe, on n'en peut pas faire uſage dans nos Horloges à pendule, dont les boîtes ſont trop étroites, comme les cartels, par exemple ; il faut donc rechercher des moyens propres à rendre égales les vibrations d'un court pendule à lentille légere, qui eſt mu par la force inégale d'un reſſort.

repos retarde la partie descendante de l'oscillation.

1627. 2°, Si l'échappement est à recul, les oscillations du pendule seront plus promptes; car le recul abrege la partie ascendante de l'oscillation, dont il empêche l'étendue de l'arc; & la réaction de la roue accélere encore la partie descendante de l'oscillation. Examinons encore mieux ce qui doit arriver dans l'échappement à repos, & comment il trouble & retarde les oscillations du pendule libre.

1628. Lorsque la dent du rochet a communiqué son impulsion au plan incliné, le pendule monte presque librement, car il se meut avec vîtesse, & avant que la dent presse avec toute son action sur le repos, de maniere que le pendule décrit un plus grand arc; mais le pendule ayant consumé toute la force d'impulsion de la roue, il redescend par la seule force de sa pesanteur; or la pression de la dent sur le repos cause un frottement qui diminue la tendance du pendule pour descendre, ensorte qu'il fait son oscillation plus lentement.

1629. Il suit de ces effets des échappements à repos & à recul: 1°, Que plus un échappement causera un grand recul à la roue, & plus les oscillations du pendule seront dérangées & accélérées par l'augmentation de force motrice.

1630. 2°, Qu'en diminuant insensiblement le recul, l'horloge avancera de moins en moins, & jusques-là qu'ayant entiérement détruit le recul & fait l'échappement à repos, alors les oscillations du pendule seront plus lentes que s'il oscilloit librement.

1631. 3°, Que par conséquent il y a un certain recul dans l'échappement dont la propriété sera telle, que l'augmentation ou diminution de la force motrice ne changera aucunement la durée des oscillations, c'est-à-dire, qu'elles seront isochrones.

Des Pendules à ressort.

1632. Il y a deux choses essentielles auxquelles il faut

avoir égard dans les horloges à reſſort; la premiere, c'eſt de proportionner la force du régulateur à celle du reſſort; la ſeconde, c'eſt de conſtruire l'échappement, de maniere que les inégalités du reſſort ne changent pas l'iſochroniſme des vibrations : comme on n'a communément aucun égard à ces deux choſes dans la fabrication de ces ſortes d'horloges, nous traiterons cet objet, afin que ceux qui ſeront curieux de faire de bonnes machines puiſſent y parvenir ſans trop de difficultés.

Expériences faites ſur une Horloge à demi-ſecondes : Echappement à repos.

1633. J'AI fait une Horloge à demi-ſecondes, dont la lentille peſe 6 liv. l'échappement à repos; & dont le pendule décrit des arcs d'un degré. Cette horloge va un mois ſans remonter, le barillet a 19 lignes de diametre; ainſi la force motrice n'eſt pas conſidérable; cependant elle produit un effet tel que l'appui de la dent ſur le repos retarde conſidérablement la vibration du pendule; car la longueur du pendule n'eſt que de 9 pouces depuis le point de ſuſpenſion au centre de la lentille, & cependant la machine eſt réglée; au lieu que ſi ce pendule oſcilloit librement, le centre de la lentille ſeroit au moins de 3 lig. plus bas. On voit par-là combien la preſſion ſur le repos dérange les vibrations. On peut juger combien dans les montres à cylindre les oſcillations du balancier ſont dérangées par l'échappement; car dans ces montres la force motrice étant capable de donner le mouvement au balancier, cette force doit beaucoup plus déranger les vibrations que dans l'horloge à pendule où la force eſt toujours bien éloignée de mettre le pendule en mouvement, ne pouvant au contraire qu'entretenir la vibration du pendule lorſqu'on l'a mis en mouvement.

1634. Il eſt évident qu'une telle horloge doit faire des écarts, ſelon que la force motrice eſt plus ou moins grande; elle doit donc avancer à meſure que le reſſort ſe débande.

1635. Si on augmentoit les arcs de levée, de ſorte que le pendule décrivît 3 ou 4^{d}, il faudroit alors redeſcendre la lentille; car pour lors la force du pendule étant plus grande, l'appui de la dent ſur le repos ne pourroit plus détruire qu'une très-petite partie de cette force; ainſi les oſcillations du pendule ſe feroient plus librement : la même choſe arriveroit, ſi on diminuoit de beaucoup la force motrice.

1636. Lorſqu'un reſſort eſt fait, il n'eſt pas aiſé de changer ſa force; ainſi on ne peut pas, comme dans les horloges à poids, augmenter & diminuer le moteur, juſqu'à ce qu'il ſoit de la quantité requiſe pour entretenir le mouvement du pendule; & d'ailleurs, le calcul qu'il ſeroit néceſſaire de faire pour trouver à chaque pendule la force du moteur, ou bien, le reſſort étant donné, pour trouver la peſanteur de la lentille, l'étendue de ces arcs, &c : or, dis-je, ce calcul ſeroit très-difficile, & hors de la portée des Ouvriers qui exécutent nos horloges à pendule; j'ai donc cherché à leur donner des méthodes qui puiſſent conduire à la même perfection ſans tant de difficultés.

REMARQUE.

1637. DANS une horloge dont l'échappement eſt à repos; plus la lentille ſera légere & parcourra de petits arcs, & plus l'horloge retardera par l'augmentation de force; & au point, que ſi cette force motrice eſt fort grande relativement à la quantité de mouvement du pendule, la peſanteur de la lentille ne ſeroit pas ſuffiſante pour vaincre le frottement du repos; enſorte que le pendule arrêteroit ſans redeſcendre à la verticale; au contraire, plus la force de mouvement du pendule ſera grande relativement au moteur, & moins le repos dérangera l'oſcillation du pendule. Ainſi ſi l'on a une lentille peſante qui décrive de grands arcs, les oſcillations ne ſeroient pas ſenſiblement troublées, quand même on viendroit à rendre la force motrice double de ce qu'elle devoit être pour entretenir le mouvement du pendule. Si on adapte à l'horloge un échappement à recul; &, la lentille étant trop légere, relati-

vement à la force motrice, il arrivera que la force du moteur venant à augmenter, les oscillations du pendule en seront d'autant plus promptes ; car l'impulsion de la roue par la levée accélérera cette partie de l'oscillation, qui le sera encore (accélérée) par le recul : la lentille étant trop légere, ainsi que nous le supposons, ne fera pas ses vibrations de la même maniere que le feroit le pendule libre ; au contraire, la force motrice lui communiquera une partie de sa vîtesse & de ses inégalités. Il suit de ces observations qu'un échappement étant donné, sa propriété change selon le plus ou moins de force de mouvement du pendule, relativement à la force motrice. Ainsi la courbure ou inclinaison qui donne le recul n'est pas constante, ni la même dans toutes sortes d'horloges ; il faut avoir égard au plus ou moins de pesanteur de la lentille, de force motrice, de l'étendue des arcs du pendule, &c. Ce problême intéressant est donc très-compliqué, & merite d'être résolu par un bon Géometre ; mais en attendant que cela soit, je conseille aux Artistes de varier les courbures de l'inclinaison de l'ancre, selon que l'exigera la nature de la machine, & ils parviendront à avoir des oscillations sensiblement isochrones (1378).

CHAPITRE XVII.

Description de la Machine que j'ai construite, pour vérifier les effets des échappements & le changement qu'ils causent aux pendules libres.

EXPÉRIENCE SUR CET OBJET.

1638. POUR ne rien laisser à desirer sur les pendules, & pour prouver ce que j'ai avancé sur les échappements & sur la nécessité d'un rapport exact entre le régulateur & la

force motrice ; j'ai exécuté une machine qui ſervira à prouver les écarts d'un pendule, lorſqu'il eſt mu par une force motrice inégale, le retard que produit l'échappement à repos, & l'avance que le recul trop grand occaſionne ; enfin nous ferons voir qu'en donnant à l'échappement un recul moyen, on remédiera à toutes les inégalités de la force motrice.

PLANCHE XXIII.

1639. La fig. 1. repréſente cette machine. *AB* eſt le pendule ſuſpendu par un fil qui s'enveloppe ſur une petite poulie fixée à la verge du pendule, afin de pouvoir faire oſciller librement le pendule, ſans que la lentille puiſſe vaciller : au bas du pendule eſt un *limbe CD*, diviſé en 30 degrés de cercle.

1640. *GHI, EFK* eſt une cage qui contient deux roues, dont l'une forme la roue d'échappement, & l'autre porte un encliquetage, ainſi que le cylindre ſur lequel s'enveloppe une corde qui porte le petit ſac *Q* que je charge ſucceſſivement de différents poids. Cette roue *L* a 180 dents ; elle engrene dans le pignon 6 qui porte la roue d'échappement *M* de 60 dents ; & comme chaque battement du pendule eſt de demi-ſecondes, la roue *M* fait un tour en une minute, & la roue *E* en fait un en 30 min. La roue *L* eſt graduée en 30 parties, afin de marquer les minutes indiquées par un index *O* fixé au pilier *FI*; la roue *M* eſt pareillement graduée, mais en 60 parties, afin de marquer les ſecondes qui ſont auſſi indiquées par l'index *P*.

1641. La fourchette *X* eſt miſe à frottement ſur l'axe qui porte la piece d'échappement : cette fourchette eſt fendue dans ſa longueur afin de pouvoir faire monter & deſcendre la tige *a* qui correſpond au pendule, & de diminuer ou d'étendre les arcs du pendule, ſelon que mes expériences l'exigent : la verge du pendule eſt auſſi fendue dans ſa longueur pour recevoir la tige *a* de la fourchette.

1642. Sur l'axe de la fourchette, j'ai adapté trois ſortes d'ancres qui ſont tellement exécutés, qu'ils forment, avec la roue

roue d'échappement, l'un (*fig.* 1), l'échappement à repos: X (*fig.* 4), l'échappement à grand recul, & la troiſieme, (*fig.* 3) l'échappement iſochrone; ils ſont tellement conſtruits qu'ils font décrire les mêmes arcs de levées.

1643. L'échappement à grand recul fait rétrograder la roue avec une vîteſſe égale à l'eſpace parcouru par le plan de l'ancre.

1644. L'échappement iſochrone fait rétrograder la roue d'un quart de l'eſpace qu'il parcourt.

1645. Pour faire des expériences d'après leſquelles on puiſſe partir, j'ai fait oſciller librement le pendule, & j'ai réglé ſon mouvement, en comparant ſa marche avec une horloge à ſeconde, placée à côté de cette machine; j'ai donc baiſſé la lentille, juſqu'à ce que les oſcillations du pendule libre qui décrit 6 degrés, aient été reglées ſur l'horloge à ſecondes: le pendule ainſi réglé, le centre de la lentille eſt diſtant du point de ſuſpenſion de 9 pouces 7 lignes. Dans le pendule ſimple, la diſtance de ce centre ne doit être que de 9 pouces 2 lignes $\frac{14}{100}$: mais cette lentille peſe 5 gros, elle a 18 lignes de diametre, & la verge du pendule eſt peſante; ainſi le centre d'oſcillation eſt au-deſſus de celui de la lentille de toute la quantité de 4 lignes $\frac{86}{100}$; c'eſt-à-dire, près de 5 lignes. Cela ainſi préparé, nous ſerons aſſurés, après avoir adapté un des échappements dont nous avons parlé, que les écarts qui arriveront de la marche de la machine ſeront produits par l'échappement.

I. EXPÉRIENCE.

1646. J'ai adapté l'échappement à repos, dont l'arc de levée eſt de 5 degrés $\frac{1}{2}$, la force motrice une once, l'arc de vibrations 8 deg. En une heure de temps, cette eſpece d'horloge a retardé de 30 ſecondes, ce qui feroit 12 min. en 24 heures.

II. EXPÉRIENCE.

1647. J'ai doublé la force motrice en laiſſant l'échappement au même point; l'arc de vibrations du pendule

étoit alors de 12 degrés; en une heure elle a retardé de 35 secondes; c'est-à-dire 14 minutes en 24 heures.

III. EXPÉRIENCE.

1648. LAISSANT le même échappement, & augmentant la force motrice d'une once, c'est-à-dire, en la rendant triple de ce qu'elle étoit dans la premiere expérience, le pendule a décrit des arcs de 14 degrés, en une heure a retardé de 37 secondes; c'est 14 min. 48 secondes en 24 heures.

IV. EXPÉRIENCE.

1649. J'AI adapté sur l'axe de la fourchette l'ancre (*fig.* 2) de l'échappement à grand recul; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration, 8 degrés; force motrice, 1 once. En une heure a retardé de 15 secondes; en 24 heures, 6 minutes.

V. EXPÉRIENCE.

1650. LAISSANT le même échappement; force motrice, 2 onces; même levée; arc de vibration 10 degrés; en une heure retarde de 6 secondes; en 24 heures, 2 min. 24 secondes.

VI. EXPÉRIENCE.

1651. J'AI adapté sur la tige d'échappement l'ancre à moyen recul; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration 8 deg. force motrice une once; en une heure a retardé de 27 secondes; en 24 heures, 10 min. 48 secondes.

VII. EXPÉRIENCE.

1652. LAISSANT le même échappement; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$; force motrice, 2 onces; arc de vibration, 12 deg. en une heure a retardé de 27 secondes; en 24 heures, 10 min. 48 secondes.

VIII. EXPÉRIENCE.

1653. MEME échappement; arc de levée, 5 deg. $\frac{1}{2}$;

force motrice, 3 onces; de vibration, 14 deg. $\frac{1}{2}$; en une heure retarde de 27 secondes; en 24 heures, 10 min. 48 secondes.

1654. On voit par ces expériences combien les oscillations du pendule sont troublées par l'échappement, & diversement selon sa nature; ce qui confirme parfaitement tout ce que nous avons établi ci-devant (1626)

1655. Par la premiere expérience, on voit que la force motrice d'une once fait retarder le pendule de 12 min. en 24 heures, lorsqu'il est mu par un échappement à repos; par la seconde, on voit que le même échappement retarde 2 minutes de plus, lorsqu'on double la force motrice; enfin, par la troisieme expérience, il retarde de 2 min. 48 secondes de plus, lorsqu'on triple la force motrice.

1656. Par la quatrieme expérience, on voit que l'échappement à grand recul retarde de 6 min. en 24^{h}, lorsque la force motrice est d'une once; c'est-à-dire, que cet échappement retarde les oscillations de 6 min. de moins que celui à repos en 24 heures; par la cinquieme expérience, on voit qu'en doublant la force motrice à cet échappement, le pendule ne retarde que 2 min. 24 secondes en 24 heures, ce qui differe de l'échappement à repos, dont les arcs de levée & la force motrice sont les mêmes, de 11 min. 36 secondes en 24 heures.

1657. Par la sixieme expérience, on voit que l'échappement dont le recul est moyen entre le repos & le grand recul, retarde de 10 min. 48 secondes en 24 heures, lorsque la force motrice est d'une once; enfin, les 7me & 8me expériences démontrent qu'en doublant & triplant la force motrice le pendule retarde constamment de la même quantité, 10 min. 48 secondes en 24 heures; cet échappement rend donc les oscillations du pendule isochrones, malgré l'inégalité de force motrice & des arcs parcourus.

1658. Je ne rapporterai pas ici un grand nombre d'expériences que j'ai faites, & qui prouvent la même chose que les précédentes; je me contenterai de parler du résultat de celles que j'ai faites, lorsque la fourchette, au lieu d'agir en *a* étoit en *b*, ensorte qu'avec les mêmes échappements, les

arcs de levée n'étoient que de trois degrés, alors les oscillations du pendule étoient troublées beaucoup plus sensiblement par les changements de force motrice, sur-tout celui à repos, qui retardoit considérablement les vibrations du pendule libre : ces variations sont causées par l'augmentation du recul & la diminution de la levée; car la force motrice restant la même, son action sur l'échappement doit augmenter dans la même raison que les arcs de levée ont été diminués; ainsi les frottements augmentent aussi à proportion, & d'autant plus que la traînée étoit plus grande, malgré que la levée fût plus petite.

1659. On voit par-là combien il est essentiel de diminuer l'espace parcouru par le recul de l'échappement, & au contraire d'augmenter la levée; lors donc que l'espace que doit parcourir un balancier ou un pendule sera donné, plus l'arc par la levée sera grand, & celui par le recul petit, & plus vous réduirez les frottements; enfin, plus l'espace total parcouru par l'échappement sera petit, & plus vous réduirez le frottement, la force motrice restant la même.

1660. Nous remarquerons encore ici, que si les échappements peuvent causer des effets si sensibles dans les oscillations d'un pendule, à plus forte raison produisent-ils ces effets dans les montres; on voit sur-tout, & nous le montrerons encore ci-après en parlant des montres, que si l'échappement à repos est le plus mauvais échappement qui soit applicable aux horloges à ressort, ce n'est sûrement pas le meilleur que l'on puisse adapter aux montres; car, comme nous le ferons voir, s'il arrive que des montres qui ont cet échappement, aillent bien, ce n'est pas qu'il soit meilleur, mais c'est que d'autres défauts de la machine corrigent ceux qu'il a; nous nous expliquerons là dessus : enfin, & je conclus par-là, on voit que toute la brillante théorie que l'on a donnée du pendule, quoique très-vraie, lorsqu'il est question du pendule *simple*, devient absolument inutile, lorsque ce pendule est appliqué à l'horloge; ainsi l'isochronisme par la cycloïde, & l'isochronisme par les petits arcs, & les calculs des temps des vibrations par les grands & les petits arcs, toutes ces théories

très-belles en ſpéculation, ne ſont pas d'uſage dans la pratique: je ne prétends pas dire que l'on ne doive les connoître; bien loin de-là, ce ſont elles qui nous ont ouvert la carriere; mais je veux dire que la théorie doit nous diriger pour nos recherches, & l'expérience doit nous conduire dans l'application de ces principes; c'eſt ainſi que ces choſes ſe prêtant des ſecours mutuels, nous parviendrons à faire de bonnes machines.

Expériences ſur un échappement rendu iſochrone.

1661. J'AI appliqué l'échappement iſochrone, (c'eſt-à-dire, conſtruit ſur les principes de celui qui a ſervi aux expériences 6, 7 & 8 (1651), & dont on a vu la conſtruction (1324 *& ſuiv.*) à une petite horloge à reſſort, dont le pendule a 5 pouces de longueur. Pour vérifier ſa juſteſſe, je l'ai faite marcher, en ne donnant d'abord qu'un tour de bande; j'ai noté de 6 heures en 6 heures l'écart qu'elle faiſoit en la comparant à l'horloge à ſecondes; en 6 heures elle retardoit de 4 min. $\frac{2}{3}$; elle a ainſi marché pendant 34 heures en retardant conſtamment de 4 min. $\frac{2}{3}$ à chaque 6 heures; elle a donc retardé de 27 min. en 34 heures; j'ai remonté le reſſort tout au haut, & ayant laiſſé marcher l'horloge pendant 24 heures, elle a retardé de 18 min. $\frac{1}{2}$, ce qui feroit $26\frac{5}{24}$, dont elle auroit retardé en 34 heures. J'ai continué à obſerver la marche de cette horloge, à meſure que le reſſort ſe développoit, & j'ai trouvé qu'elle retardoit aſſez conſtamment de la même quantité qu'elle faiſoit au bas. J'ai obſervé au même temps la marche d'une horloge à reſſort, dont la lentille avoit à peu-près 5 pouces de longueur, & dont l'échappement étoit à ancre, tel qu'on les fait communement; elle avançoit de 4 min. de plus en 24, lorſqu'elle étoit montée au haut, que lorſque le reſſort étoit à ſon premier tour de bande; cette variation étoit cauſée par le grand recul que produit l'échappement ſur la roue.

CHAPITRE XVIII.

De la Dilatation & Contraction des Métaux par le froid & le chaud.

1662. LA CHALEUR agit tellement ſur tous les corps qu'elle les alonge (a), & le froid les raccourcit : cet effet de la chaleur & du froid agit encore plus ſenſiblement ſur les fluides, comme nous le voyons par les thermometres.

1663. L'extenſion des métaux & autres corps par la chaleur, & leur contraction par le froid, fut apperçu par Wendelinus (b) ; & il paroît que Muſſchenbroek a été le premier qui ait fait une machine qui ſerve à faire voir ces effets du chaud & du froid ; il appelle *Pyrometre* cette machine.

1664. C'eſt donc une vérité reconnue & prouvée par toutes les expériences, que la chaleur dilate tous les corps, & que le froid les condenſe ; & comme il arrive qu'il n'y a pas deux moments de ſuite le même degré de chaleur, on peut dire que les parties de tous les corps, que nous croyions autrefois dans un parfait repos, ſont au contraire dans un mouvement continuel, & que ces corps ſont ainſi plus grands en été qu'en hiver, & le jour que la nuit.

1665. En traitant du pendule, nous avons fait voir que plus ils étoient longs, & plus leurs vibrations étoient lentes ; & au contraire, plus ils ſont courts, & plus elles ſont promptes : or la chaleur alongeant la verge du pendule, on voit qu'en été l'horloge à pendule retardera, & qu'en hiver elle avancera : elle ne marchera donc pas d'un mouvement uniforme ; il eſt

(a) On appelle *Dilatation* ou *Extenſion* cet effet de la chaleur ; & l'on appelle *Condenſation* ou *Contraction* cet effet du froid ſur les corps ; nous nous ſervirons donc dans la ſuite indifféremment de ces mots.

(b) Voyez la Phyſique de Muſſchenbroek, tome 1, page 202.

donc essentiel, pour la perfection des machines qui mesurent le temps, de connoître les degrés de dilatation & de condensation des différents corps par le chaud & le froid ; & comme l'expérience nous apprend que tous les corps n'éprouvent pas le même degré de dilatation par le même degré de chaleur, il faut rechercher quel est le corps qui s'alonge le moins, & comment, en composant la verge d'un pendule avec des métaux qui se dilatent différemment, on peut le rendre tel, que malgré l'action du chaud & du froid sur ces métaux, le centre d'oscillation soit toujours à même distance de celui de suspension.

1666. Nous savons que ces différentes recherches ont déja été tentées, mais ils nous a paru que ç'a été d'une maniere très-défectueuse & incomplette, ensorte qu'il ne nous paroît aucunement que l'on puisse partir d'après ces expériences, dont les meilleures n'ont pas eu pour objet les verges du pendule, & n'ont par conséquent pas de rapport nécessaire à l'horlogerie.

1667. Quant aux expériences de Musschenbroek, & de ceux qui les ont répétées d'après lui, nous pouvons assurer qu'elles sont très-imparfaites ; car 1°, son pyrometre est construit de sorte qu'il n'est pas à l'abri des changements soudains de la chaleur & du froid ; 2°, les engrenages dont il se sert, ayant nécessairement du jeu, on ne peut pas compter exactement l'espace que l'aiguille a parcouru ; 3°, les bougies qu'il place sous les corps à observer ne donnent pas une chaleur constante, car le moindre air peut déranger les flammes ; 4°, les expériences sont faites sur des morceaux de fer & autres, dont la longueur n'est que de 5 pouces $\frac{1}{2}$; enfin il est évident que par ces expériences l'on ne peut estimer ni la quantité d'alongement du corps par tel degré de chaleur, ni établir les rapports des dilatations des métaux ; ensorte que, quoique nous reconnoissions que nous devons beaucoup à ces premieres expériences, par lesquelles Musschenbroek a ouvert la carriere, nous croyons qu'elles servent plutôt à montrer que les corps se dilatent & se condensent, qu'à faire voir

comment & dans quel rapport. Les Physiciens qui ont repété ces expériences d'après Musschenbroek, ont suivi à peu-près la même route ; ainsi nous les regardons comme aussi inutiles pour notre objet, & elles le sont d'autant plus, qu'aucun de ceux qui ont fait ces expériences, n'ont eu égard à la différence de la dilatation, lorsque le métal est ou n'est pas chargé de poids ; or les verges de pendules supportent le poids de la lentille, l'extension en doit donc être très-différente, comme nous le ferons voir.

1668. J'ai donc entrepris de faire un pyrometre, au moyen duquel on puisse faire le plus exactement qu'il est possible les expériences sur la dilatation des métaux : je le commençai en 1755, & fis dès-lors des expériences que j'ai continuées & repétées tous les hivers, faisant chaque fois des changements pour rendre ces expériences les plus sûres qu'il m'a été possible ; & je ne compte y être parvenu que depuis le commencement de 1760.

1669. Je rendrai compte de la maniere dont ces expériences ont été faites, & des résultats qu'elles ont donnés ; ensuite suivra la description des verges composées que j'ai construites pour remédier aux variations que cause la dilatation & condensation sur les pendules, & enfin la maniere de calculer les dimensions de ces verges.

1670. Je me suis d'autant plus attaché à cet objet (de la dilatation des métaux), que cette connoissance m'a paru essentielle, non-seulement pour l'Horlogerie, mais encore pour servir à la Physique générale. J'ai donc cru ne devoir rien négliger pour mettre cet objet, sinon dans le meilleur état, au moins d'en approcher autant qu'il a été en mon pouvoir ; & si ce travail a été interrompu, ce n'a été que pour le reprendre ensuite avec plus de soin. Je ne rapporterai ici qu'une très-petite partie des détails presque infinis, & des expériences qu'il m'a fallu répéter & recommencer pour parvenir à ce but.

CHAPITRE

CHAPITRE XIX.

Description du Pyrometre que j'ai composé pour faire les Expériences de la dilatation & contraction des Métaux.

PLANCHE XXIV.

1671. *F*, *G*, *H*, *I* (*fig.* 2) est une piece de marbre qui a 5 pieds de haut, 12 pouces de large, & 5 pouces d'épaisseur : cette piece est percée au haut, d'un trou à travers lequel passe le pilier *A*, dont la base a 3 pouces de diametre, & le corps 2 pouces $\frac{1}{2}$: ce pilier est fixé avec le marbre au moyen d'un fort écrou; le corps du pilier est fendu comme un coq de pendule à secondes ; il porte deux vis qui tendent & passent au centre du pilier; ces vis servent à fixer le corps que l'on veut observer ; & si c'est un pendule, il porte la suspension comme le feroit un coq de pendule. J'ai formé au bout de ces vis des especes de pivots trempés & tournés avec soin; ils passent d'abord dans le corps à observer, & entrent juste dans la partie du pilier qui n'est pas taraudée; ce pilier sert donc, comme on le voit, à fixer les pendules, & d'une façon solide & invariable.

1672. Ayant suspendu un pendule à secondes au pilier *A*, j'ai fait percer au-dessous de la lentille *D* un second trou dans le marbre : à travers ce trou, passe, comme dans le premier, un pilier de 3 pouces de base ; il est fixé à la piece de marbre de la même maniere que le pilier *A* : la base de ce second pilier s'éleve à 3 pouces $\frac{1}{2}$ du marbre, & sert à porter, au moyen des deux vis *a*, *b*, le limbe ou cadran *B*, qui a 10 pouces de diametre, & gradué avec soin en degrés du cercle.

1673. Au centre du limbe (*fig.* 3) se meut un pignon *c*

de 16 dents ; il eſt exécuté avec beaucoup de préciſion, & fendu ſur la machine à fendre ; il ſe meut entre le pont *g*, & le limbe *A C*; ſa tige porte une aiguille *m n* miſe d'équilibre par le contrepoids *n*. Au haut du limbe ſe meut auſſi, entre le limbe & le pont *f*, un rateau *b a* de 4 pouces de rayon ; il porte 12 dents ; ce rateau engrene dans le pignon *c* de 16 dents ; ce rateau eſt fendu ſur le nombre 396 ; ainſi pour faire faire un tour à l'aiguille, il fait une $24 \frac{3}{4}$ de ſa révolution, ce qui répond à un angle de 14 degrés 50 minutes $\frac{70}{97}$: je trouve par ce moyen le point du rateau où la verge doit appuyer, pour qu'une demi-ligne d'alongement faſſe faire un demi-tour à l'aiguille, & parcourir 180 degrés ; j'ai trouvé que ce point doit être diſtant du centre *a* de 3 lig. $\frac{7}{8}$. Ayant donc pris 3 lig. $\frac{7}{8}$ du centre du rateau avec beaucoup d'exactitude, j'ai percé un petit trou, dans lequel j'ai fixé une piece *p* d'acier trempé, ſur laquelle j'ai fait une courbure, qui eſt telle, que lorſque la verge du pendule s'alonge ou ſe raccourcit, c'eſt-à-dire, que le bout monte & deſcend, ce levier ne change pas de longueur, & parcourt le limbe d'un mouvement uniforme.

1674. La piece *q a* ſur laquelle eſt fixée la petite portion d'acier ſe meut ſur le centre du rateau par une vis de rappel *e* ; enſorte que je puis, par ce moyen, faire changer le rateau, & faire amener l'aiguille au degré correſpondant de thermometre, ſans changer la poſition du levier, qui doit toujours être à peu-près perpendiculaire au pendule.

1675. Les différentes diviſions que j'ai faites ſur cette piece *q a*, ſervent à produire des variations plus ou moins ſenſibles : il y en a une qui eſt à 7 lig. $\frac{3}{4}$ du centre, & double en longueur de celle où j'ai fixé la petite piece d'acier : elle ſervira dans le cas où j'aurai des corps dont l'alongement ſeroit conſidérable, & dont les 180 degrés du limbe ne ſuffiroient point ; ainſi, au lieu qu'une ligne, dans le premier cas, feroit parcourir la circonférence entiere à l'aiguille ; dans celui-ci, une ligne n'en feroit parcourir que la moitié : j'ai fait une diviſion qui eſt à 6 lig. du centre, & une à 3 ; enſorte que cette derniere, pour le même alongement d'une ligne, produira de

plus grandes variations, comme 465 degrés du limbe.

1676. Pour fixer & déterminer à volonté la position du pendule sur un de ses points de division, j'ai fait une piece de cuivre *l h*, qui se fixe après le limbe au moyen d'une forte vis *i*; la piece *lih* se meut en coulisse, de sorte qu'on peut faire approcher son extrémité *h* fort près du centre du levier où sont les divisions : cette piece *l i h* est percée en *h* d'un trou, dans lequel je fais passer une tige d'acier, fixée au centre de la lentille du pendule que je veux observer, (ou bien le bout des verges); lorsque je ne mets pas de lentille, ces verges sont alors terminées par un bout rond qui passe juste dans le trou *h*, ensorte que le pendule ne peut que s'alonger & non se mouvoir en aucun sens : ainsi, en faisant approcher cette piece *l h* du centre du rateau, ou en l'en éloignant, je rends plus ou moins sensibles les alongements des métaux. Je ne me suis servi pour toutes mes expériences que de la division où j'ai mis la petite tête d'acier, c'est-à-dire, celle sur laquelle la lentille appuyant, fait parcourir 180 degrés pour demi-ligne d'alongement.

1677. J'ai disposé une forte piece de cuivre *D* (*fig.* 4) qui a 4 pouces de diametre, & un pouce ½ d'hauteur; elle sert à porter le limbe, lorsque l'on veut mesurer des corps de différentes longueurs: ce cylindre est ajusté avec une forte piece de fer coudée *E F*, qui sert à la fixer sur le marbre, au moyen d'une vis de pression *D*, telle que celle qui attache un étau après un établi ; à travers de la piece de cuivre, il y a une entaille, dans laquelle se loge une partie de la piece de fer opposée à la vis ; c'est ce qui fait la pression de la base du cylindre de cuivre sur le marbre : on voit cette piece attachée au marbre en *E* (*fig.* 2).

1678. La deuxieme figure représente la machine toute montée avec son pendule, dont le crochet porté par la lentille, vient passer sur le rateau; ensorte que si la verge s'alonge ou se raccourcit, le rateau suivra ce même mouvement; ce qui fera nécessairement tourner le pignon & l'aiguille qu'il porte ; lorsque le pendule se raccourcit, le rateau suit son mouvement, y étant contraint par le petit poids *P* (*fig.* 3), lequel

tient à un fil, qui s'enveloppe sur la poulie *d*, portée sur l'axe du pignon.

1679. Voilà à peu-près le méchanisme du pyrometre. Il me reste maintenant à rendre compte de la disposition de l'*étuve* que j'ai faite pour donner les différents degrés de chaleur aux corps que l'on veut observer, ensorte que les différentes températures de l'étuve soient données exactement par un thermometre. Pour y parvenir, j'ai fait placer une planche à un pouce de distance du marbre, ensorte que l'air extérieur frappe toujours également les côtés du marbre : j'ai disposé une boîte (*fig.* 1), qui entre *à feuillure* avec cette planche, avec l'intervalle nécessaire pour loger les machines du pyrometre, ainsi que le corps que l'on veut observer.

1680. Cette boîte *ABCD* (*fig.* 1) forme, avec la planche en question, ce que j'appelle l'étuve.

1681. Pour produire les changements de température, j'ai placé au bas de l'étuve un poële *EFac* (*fig.* 1) lequel communique à l'étuve par un tuyau à soupape; ce tuyau est dirigé contre une plaque de tôle recourbée, de maniere à diviser la chaleur du poële, & la répandre également dans l'étuve, sans frapper un endroit plus que l'autre, ou le moins inégalement, afin d'imiter, autant qu'il est possible, l'effet de l'air sur les corps : cette boîte est percée dans sa longueur, d'une fenêtre qui permet de voir dans l'intérieur de l'étuve, & de remarquer quelle est la température qui y regne ; ce qui est indiqué par un thermometre : cette ouverture est fermée par une glace, & permet en même temps de voir les variations de l'aiguille du pyrometre.

1682. La machine étant amenée à ce point, il ne faut qu'avoir le plus violent degré de froid, pour connoître dans l'instant tous les effets de l'air sur les métaux & autres corps. Pour cet effet, j'ôte la boîte qui renferme la machine, & laissant à l'air extérieur le temps de pénétrer les pores des corps & du thermometre, je remarque les degrés de froid du thermometre & celui de la machine; après cela, je remets l'étuve qui empêche toute communication avec l'air extérieur; puis rem-

plissant le poële de feu, & ouvrant la soupape qui permet à la chaleur d'entrer dans la boîte, j'observe les passages différents du froid au chaud, & marque sur un registre l'état du thermometre & celui de la machine; je fais ainsi passer successivement la température de l'étuve, jusqu'à ce que le thermometre soit au plus haut degré de chaleur auquel je me suis arrêté : je vois par-là les différents effets que l'air produit pour l'alongement, & enfin l'alongement effectif de l'extrême froid au grand chaud, les différents effets, soit que les corps soient de cuivre, d'acier, de bois, de fer, de verre, &c; la différence, s'il pouvoit y en avoir, qui fût causée par leurs différentes grosseurs, & le temps que dure l'impression, suivant la différence des grosseurs & des qualités des corps; ainsi je détermine les alongements réels des corps, & les relatifs, ayant aussi égard, & observant si ceux qui sont chargés des plus grands poids s'alongent de même.

1683. On voit par la construction de la machine, que tous les changements de température de l'étuve ne peuvent causer aucune différence dans la longueur du marbre, puisqu'au moyen du courant d'air que j'ai ménagé entre l'étuve & le marbre, il est toujours frappé par l'air extérieur ; ainsi il ne peut se dilater : d'ailleurs pour produire un alongement dans une masse aussi considérable, il faut beaucoup de chaleur, & il faut qu'elle agisse pendant fort long-temps.

1684. Il ne suffit pas de travailler à connoître les degrés d'alongement des métaux, leurs quantités, rapports, &c. Il faut de plus chercher les moyens d'y remédier, & de faire un pendule auquel tous les degrés de température ne puissent jamais changer la distance du point de suspension au centre d'oscillation, & c'est sur une machine comme celle-ci que l'on peut en voir la preuve : lors donc qu'un pendule composé, suspendu à ma machine de la mesure des métaux, éprouvant tous les degrés de température, laissera l'aiguille immobile, je puis dire que les deux points, le centre de suspension & celui d'oscillation sont restés à la même distance, & que par conséquent ce régulateur mesurera le temps avec exactitude.

Je crois pouvoir dire que jusqu'à ce jour si une horloge d'Astronome a été juste au point que je demande, beaucoup de hazard y a contribué : j'espere remédier à quelques-uns des obstacles qui s'opposent à la justesse de ces machines d'observations ; mais je ne me flatte pas d'arriver au dernier degré de perfection.

1685. Pour composer un pendule qui remédie de lui-même à son alongement, il y a plusieurs considérations à faire ; 1°, pour qu'un pendule composé ne s'alonge point, il faut que les solidités & les surfaces des corps qui les forment soient les mêmes ; sans cette condition, l'air agissant sur une plus grande surface (& le corps n'étant pas proportionné à cette surface) il pénétrera plutôt les parties de ce corps, lequel s'alongera, tandis que l'autre sera resté à peu-près dans la même situation : donc dans ce cas, le centre d'oscillation changera : 2°, Si les verges qui composent ce pendule ne sont pas fortes & grosses, la lentille étant pesante détruira tout l'effet qui seroit résulté de la combinaison de ce pendule ; car au lieu qu'une des verges remonte la lentille, elle ne fera que se recourber, & son moindre défaut sera de ne produire aucun effet. 3°, En supposant encore la lentille trop pesante, relativement à la grosseur des verges, il en résultera un autre défaut, qui est celui d'affaisser les parties de matieres dont ces verges sont composées, ensorte que la dilatation ne se fera plus de la même maniere, & que la compensation ne pourra plus avoir lieu.



CHAPITRE XX.

Précis des Expériences que j'ai faites ſur les dilatations de différents Corps.

1686. POUR faire des expériences ſur les différents métaux, afin de conclure le rapport de leurs dilatations, il ne ſuffit pas d'avoir conſtruit l'inſtrument que nous avons décrit ; ces expériences exigent une extrême préciſion, ſans quoi on eſt fort étonné de trouver des réſultats oppoſés, quoique l'on croye avoir opéré de la même maniere : c'eſt ce que j'ai éprouvé pluſieurs fois ; car les mêmes degrés de froid & de chaud n'ont pas toujours donné les mêmes extenſions. Ce ſont ces difficultés qui m'ont obligé à répéter ſouvent les mêmes expériences : enfin ayant voulu profiter des froids de Janvier 1760, je m'apperçus qu'en faiſant ces expériences de la même maniere que les années précédentes, je trouvois des réſultats très-différents, ce que j'attribuai particuliérement à la maniere dont la chaleur du poële étoit introduite dans l'étuve ; car juſqu'alors c'étoit un tuyau du poële qui montoit à côté de la verge ; & comme le thermometre en étoit éloigné, il arrivoit que la chaleur qui frappoit la verge n'étoit pas exactement celle qui frappoit le thermometre ; enſorte que ſelon le plus ou moins de vivacité du feu du poële & du temps que duroit l'expérience, la verge & le thermometre s'échauffoient fort différemment.

1687. Voici donc les changements que j'ai faits. 1°, J'ai placé dans l'étuve une plaque courbée à l'endroit où la chaleur qui ſort du tuyau du poële va frapper l'intérieur de l'étuve : cette plaque eſt courbée de maniere que la chaleur redeſcend & ſe diviſe en gerbe, pour remonter également dans toute l'étuve.

1688. 2°, J'ai placé le thermometre (*) tout près de la verge de métal, à la distance seulement requise, pour qu'ils ne se touchent pas; ensorte qu'il arrive qu'ils sont frappés également par la même chaleur.

1689. 3°, Pour partir sûrement du même degré de froid, j'ai fait faire un tonneau qui a 4 pieds de haut, & 9 pouces de base; je le remplis de glace pilée: ainsi en plaçant les verges que je veux éprouver dans ce tonneau, elles prendront exactement la température de la glace.

1690. 4°, Je me suis servi d'un feu plus modéré & continu pour donner la chaleur à l'étuve; je me servois ci-devant du feu de charbon vif; actuellement je me sers de *mottes à brûler* que font les Tanneurs; ce feu est doux, dure long-temps le même, & s'introduit par-là d'une maniere uniforme, qui imite la gradation de la chaleur de l'air: je n'ai employé ces mottes, qui sont de même grosseur, que lorsqu'elles ont été également consumées, au point de ne plus fumer; j'ai eu attention que le temps de l'expérience fût toujours le même, afin d'avoir des résultats exacts; & je crois pouvoir assûrer qu'ils le sont. Car ayant repété plusieurs fois les mêmes expériences, j'ai toujours trouvé très-exactement les mêmes résultats: en consequence, j'ai recommencé toutes mes expériences, non-seulement sur ces métaux que j'avois observés, mais encore sur le verre, sur l'or & l'argent, ayant fait tirer une verge d'or & une d'argent de 40 pouces chacune. M. Romily, fort habile Horloger, fut présent à quelques-unes de mes expériences,

(*) J'ai appliqué sur la même planche trois thermometres de mercure gradués sur les divisions de M. de Réaumur: le premier a sa boule cylindrique; il peut monter à l'eau bouillante; le second a trois branches & va 39 degrés au-dessus de la glace; le troisieme a quatre branches, & peut monter à 74 degrés au-dessus de la glace.

Ils sont faits ainsi à plusieurs branches, afin de les rendre plus ou moins sensibles; & pour les comparer avec des verges de différentes grosseurs, ensorte qu'un degré de chaleur agisse avec un égal avantage pour dilater une verge d'une grosseur donnée, & pour dilater le mercure d'un des thermometres: ainsi, lorsque j'examine dans l'étuve l'alongement d'une verge un peu forte, pour connoître le degré de température qui la fait changer, je me sers du thermometre qui a la plus grande quantité de mercure sous la moindre surface; & lorsque j'ai une plus petite verge, je me sers du thermometre à deux branches, lequel a moins de mercure sous une plus grande surface, &c.

l'ayant

l'ayant invité à les voir ; il eut la complaisance de me procurer les verges d'or & d'argent. Au moyen de ces expériences, je donne ici une table complette & exacte de tous les metaux ; ainsi je supprime toutes les expériences que j'ai faites pendant quatre hivers consécutifs, & plusieurs détails sur des matieres composées de plomb, d'antimoine, &c : elles ne sont pas assez exactes pour avoir ici place.

17 Mars 1760.

1691. AYANT rempli de glace le tonneau, j'y ai placé différentes verges de même longueur, c'est-à-dire, de 3 pieds 2 pouces 5 lignes = 461 lignes, à compter depuis le point fixe qui tient au pilier supérieur du pyrometre jusqu'au point où elles agissent sur le rateau ; la largeur de ces verges est de 5 lignes, & elles ont trois lignes d'épaisseur : il faut remarquer que pour chaque verge que j'observe, je ramene le thermometre à la glace, en le couvrant de glace pilée.

EXPÉRIENCE.

1692. J'AI ôté la regle de verre du tonneau, & l'ai placée sur le pyrometre ; le thermometre à zéro, l'aiguille du pyrometre à 68 degrés de froid. Ayant placé l'étuve, & l'ayant échauffée, le thermometre monta à 27 deg. & l'aiguille du pyrometre à 6 degrés ; ainsi pour 27 degrés du thermometre, l'aiguille du pyrometre a parcouru 62 divisions du limbe, c'est-à-dire, que le verre s'est alongé de $\frac{62}{360}$ d'une ligne.

1693. J'ai tiré du tonneau une verge d'acier trempé ; qui étoit revenue bleue, c'est-à-dire, qu'elle avoit à peu-près le degré de trempe des ressorts : l'ayant placée sur le pyrometre lorsque le thermometre marquoit zéro, & l'aiguille du pyrometre 19 du froid ; par le moyen de l'étuve, je fis monter le thermometre à 27 degrés, le pyrometre à 58 de chaud. Le thermometre ayant donc monté à 27 deg. l'aiguille du pyrometre a parcouru 77 divisions du limbe ; ainsi l'acier trempé s'est alongé de $\frac{77}{360}$ de ligne.

1694. Ayant ôté de même la verge de plomb hors de la glace, & l'ayant placée ſur le pyrometre, lorſque le thermometre étoit à zéro, & l'aiguille du pyrometre à 91 de froid; lorſque le thermometre étoit monté à 27 deg. le pyrometre marquoit 102 de chaud; donc, tandis que le thermometre s'eſt élevé à 27 degrés, l'aiguille du pyrometre a parcouru 193 diviſions du limbe, c'eſt-à-dire, que la verge de plomb s'eſt alongée de $\frac{193}{360}$ de ligne en partant de la glace, & étant chauffée à 27 degrés du thermometre de M. de Réaumur.

1695. Par un procédé abſolument ſemblable, une verge d'étain s'eſt alongée de $\frac{160}{360}$; une verge de cuivre jaune de $\frac{121}{360}$: une verge d'or du titre de 21 karats, tirée à la filiere & très-dure, s'eſt alongée de $\frac{94}{360}$; la même verge recuite au feu pour la ramollir, s'eſt alongée de $\frac{82}{360}$; la verge d'acier trempé, ayant été recuite, s'eſt alongée de $\frac{69}{360}$, ce qui fut trouvé par deux épreuves différentes: une verge de fer battu à froid s'eſt alongée de $\frac{78}{363}$; la même verge recuite, de $\frac{75}{360}$; une de cuivre rouge de $\frac{107}{360}$: une verge de métal compoſé de plomb & d'un ſixieme d'antimoine, s'eſt alongée de 160: un tube de verre de 4 lignes de diametre de $\frac{62}{360}$: une verge d'argent tirée à la filiere de $\frac{119}{360}$.

Table du rapport des dilatations des Métaux.

1696. ACIER recuit 69; fer recuit 75; acier trempé 77; fer battu 78; or recuit 82; or tiré à la filiere 94; cuivre rouge 107; argent 119; cuivre jaune 121; étain 160; plomb 193. Le verre 62; mercure 1235.

1697. Toutes ces verges ont été éprouvées ſans être chargées de poids: dans la ſuite ayant voulu connoître le changement que le poids d'une lentille pouvoit cauſer à l'extenſion des verges, j'ai fixé à une verge d'acier une lentille de 35 liv. & j'ai trouvé que l'extenſion étoit ſenſiblement la même; mais que le froid ne raccourciſſoit pas la verge de la même quantité que la chaleur l'avoit dilatée; je ne rapporte pas ici ces expériences, parce qu'elles ne m'ont pas paru aſſez exactes.

1698. Je supprime aussi, pour abréger, les détails d'expériences que j'ai faites sur des verges de bois de différentes especes ; il suffit de dire ici, que le bois est sujet à des écarts très-considérables par le chaud & le froid, par l'humidité & la sécheresse, de sorte qu'il est très-peu propre à faire des verges de pendules.

1699. Quoique les métaux se dilatent selon toutes leurs dimensions, nous n'avons considéré leur extension que selon leur longueur, parce que c'est la seule dont nous ayons besoin ; car il importe fort peu que la verge d'une horloge soit plus grosse en été qu'en hiver, mais il n'en est pas de même de la longueur, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant ; au reste, si on vouloit savoir combien une verge d'un métal donné est devenue plus épaisse ou plus large par tel degré de chaleur, il ne faudroit que comparer son étendue à celle de la verge de même métal de notre table (1696) ; on en concluroit facilement l'extension de la dimension demandée.

Remarques sur la maniere dont ces Expériences ont été faites.

1700. J'AI eu soin de modifier la chaleur de l'étuve & de l'arrêter long-temps au même point, au moyen de la bascule du tuyau du poële, afin de fixer le point de comparaison de chaleur que j'ai pris, qui est ici de 27 degrés, aussi sûrement que l'autre point qui est la glace. Quant à ce qu'on pourroit objecter, que dans le transport qui se fait à chaque expérience depuis le tonneau jusqu'au pyrometre, la verge auroit pu changer de température, je réponds que le tonneau étoit placé fort près du pyrometre, & que cette opération se faisoit très-vîte ; il faut remarquer de plus que la verge que l'on tire du tonneau, reste environnée d'eau glacée, qui conserve la verge froide, tellement qu'après l'avoir placée sur le pyrometre, l'aiguille reste un instant immobile ; ensorte que je puis assurer qu'elle ne peut pas changer dans cet intervalle de la $\frac{1}{1000}$ partie d'une ligne, c'est-à-dire,

moins de la moitié d'une division du limbe.

1701. Dès les premieres expériences que nous fimes sur les dilatations des métaux, nous avions entrepris de noter, à chaque degré de chaleur du thermometre, la dilatation de la verge, laquelle n'est point uniforme; & nous avions même commencé des tables que nous ne rapporterons pas ici, par la raison que nous ne les croyons pas exactes. Nous nous réservons de suivre cet objet dans la suite, pour servir à conclure la quantité des variations d'une horloge, selon que la verge est exposée à un degré déterminé de température; ce que l'on peut connoître au moyen d'un thermometre placé à côté de la verge dans la boîte de l'horloge; & comme un hiver un peu rude est nécessaire pour faire cette recherche, nous ne pourrons pas en joindre ici les résultats: quant aux loix que suit l'intension des corps, nous ne chercherons point à les marquer, la table pourra servir à chercher ces loix, &c.

Expérience faite le 15 Mai 1760, sur la dilatation d'une Verge de fer doré.

1702. Quelques personnes ont avancé, qu'en dorant des verges de fer ou d'acier, on empêchoit par ce moyen la dilatation de la verge; ce qui doit paroître peu vraisemblable, puisque, 1°, l'or se dilate plus que le fer; 2°, dès qu'il se dilate, il reçoit la chaleur, ce qui ne peut empêcher le feu de s'introduire à travers les pores de l'or, & par conséquent de pénétrer dans ceux du fer. Ces raisons m'avoient empêché de faire une expérience pour prouver la vérité, & ce n'est qu'à la sollicitation de M. ***, amateur de méchanique, que je me suis décidé à faire cette expérience; & j'ai cru devoir d'autant plus le faire, que M. *** appuyoit le sentiment que je combattois. J'ai donc fait dorer la verge de fer recuit, dont je me suis servi dans mes expériences, & dont la dilatation est de lig. : o : $\frac{75}{360}$ pour 27 degrés de différence dans la température prise de la glace au 27 du thermometre de M. de Réaumur.

1703. J'ai fait remplir le tonneau de glace, & pris les

mêmes précautions que pour les expériences précédentes; ayant ôté la verge dorée de la glace, je l'ai appliquée sur le pyrometre, le thermometre étant à zéro, & le pyrometre à 95 deg. de froid : par le moyen de l'étuve, le thermometre étant monté à 27 deg. le pyrometre marquoit 21 deg. de froid; le thermometre ayant parcouru 27 deg. depuis la glace, la verge s'est alongée de $\frac{74}{360}$; il n'y avoit donc qu'un 360[e] de ligne de moins, que ce qu'on avoit trouvé avec la même verge avant qu'elle fût dorée. Cette petite différence ne peut être attribuée à l'effet de l'or; car si l'or avoit pu apporter quelques changements, comme il se dilate plus que le fer, il eût dû en augmenter l'extension; mais cet effet n'a pu se produire ici, puisqu'il faudroit supposer l'or assez épais & assez fort pour assujettir le fer à ses variations : nous avons donc prouvé par le raisonnement & par l'expérience, qu'une verge dorée s'alonge comme si elle ne l'étoit pas.

1704. Quant à ceux qui prétendent qu'en employant des grosses verges, ils pourroient corriger pendant quelques temps les écarts de l'horloge, il est aisé de leur prouver le contraire; car, 1°, il est évident que les pores d'une grosse barre de fer (ou de tout autre métal) sont également disposés à recevoir la chaleur que ceux d'une petite barre; toute la différence qu'il y aura, c'est qu'il faudra plus de temps pour pénétrer la grande barre que la petite, parce que les surfaces ne sont pas proportionnelles aux quantités de matiere (*1563 & suiv.*) donc un changement subit agira plus efficacement sur la petite barre pour la dilater ou contracter, que sur la grande; mais de telles variations n'ont presque jamais lieu sur une horloge renfermée dans une chambre; 2°, les changements qui se font dans l'air se communiquent de proche en proche, & jamais assez subitement pour que la grosse barre applicable à une verge de pendule n'en soit presque aussi-tôt pénétrée que la petite; car j'ai observé avec mon pyrometre, que l'impression du chaud & du froid sur le fer, l'acier ou le cuivre, étoit beaucoup plus prompte que sur les thermometres de mercure, & que sur ceux d'esprit-de-vin, dont l'effet est encore plus

lent ; c'eſt pour cette raiſon que j'ai toujours fait uſage d'un thermometre à 4 branches (1688) remplies de mercure : enfin s'il arrive en effet qu'une groſſe barre ſoit un peu plus de temps à être pénétrée & dilatée par une chaleur donnée, elle conſerve auſſi plus long-temps cette impreſſion ; ainſi cette méthode ne corrige nullement les écarts de l'horloge cauſés par la différence de la température.

CHAPITRE XXI.

Calcul de la variation des Horloges, cauſée par l'extenſion ou par la contraction de la verge du Pendule.

1705. Les expériences que je viens de rapporter ſur l'extenſion & contraction des métaux par le chaud & le froid, ſervent à nous faire eſtimer les écarts que la différence de la température peut produire aux horloges, & delà à nous faire ſentir la néceſſité de compoſer des verges de pendules qui ſoient propres à corriger ces écarts.

1706. Nous allons calculer dans ce Chapitre les écarts que le chaud & le froid produiſent aux horloges par une température donnée. Nous traiterons dans les deux Chapitres ſuivants des moyens de faire des verges compoſées, pour corriger les variations des horloges produites par les différentes températures.

1707. Selon l'expérience rapportée, (article 1696) une verge de fer qui a 461 lig. de longueur, s'alonge de lig. 0 : $\frac{78}{360}$, lorſqu'on la met à la glace, & qu'on la fait enſuite chauffer juſqu'à ce qu'elle éprouve 27 degrés au-deſſus : or la longueur moyenne de la verge du pendule à ſecondes, depuis le point de ſuſpenſion au centre (*) de la lentille, eſt d'environ 37

(*) Quoique la verge du pendule deſcende ordinairement au-deſſous de la lentille ;

pouces = 444 lignes; si donc 461 se dilate de $\frac{78}{360}$ lig. 444 se dilatera d'environ $\frac{73}{360}$.

1708. Pour trouver l'écart que ce changement dans la longueur du pendule doit causer à l'horloge, il faut premiérement calculer combien le pendule à secondes, qu'on alonge d'une ligne, fait de vibrations par heure : pour cet effet, on se servira de la formule du problême (art. 1525), on a donc $\sqrt{881} : \sqrt{883} :: x : 3600$; & faisant l'extraction des deux premiers termes; $29,681 : 29,715 :: x : 3600$; multipliant les extrêmes & divisant par le terme moyen connu, on a la valeur de $x = 3595 \frac{26175}{29715}$, c'est-à-dire, qu'un pendule qui a 3 pieds 9 lig. $\frac{1}{2}$, ou une ligne de plus que celui qui bat les secondes, fait $3595 \frac{26175}{29715}$ vibrations par heure, ou 4 vibrations $\frac{3540}{29715}$ de moins que le pendule à secondes; multipliant cette quantité par 24, on aura le nombre de secondes dont l'horloge retardera en 24 heures pour une ligne d'allongement : on trouve $98 + \frac{25530}{29715}$, c'est fort près de 99 secondes.

1709. Par une suite de ce calcul, on voit que pour faire avancer une horloge (dont le pendule a 3 pieds 8 lig. $\frac{1}{2}$) d'une seconde en 24 heures, il faut alonger ou accourcir le pendule d'un $\frac{1}{99}$ de ligne; & pour la facilité du calcul, on peut estimer, sans erreur sensible, que pour faire avancer ou retarder l'horloge à secondes d'une seconde en 24 heures, il faut hausser ou baisser la lentille d'un centieme de ligne.

1710. Maintenant, pour savoir combien 27 degrés de différence dans la température produisent d'écart dans une horloge, il faut se souvenir que 360 deg. par l'aiguille du pyrometre correspondent à une ligne d'alongement ou de raccourcissement (1676). Si donc on place sur le pyrometre un pendule à secondes, qui fasse parcourir 360 degrés à l'aiguille, on sera assuré qu'un tel régulateur auroit fait varier l'horloge de 99 secondes en 24 heures; donc un degré du pyrometre répond à la 360me partie de 99 secondes : ainsi en réduisant

je n'en compte la longueur que jusqu'au centre, par la raison qu'en même temps que cette partie comprise du centre de la lentille au-dessous se dilate, le rayon de la lentille se dilate aussi & même dans un plus grand rapport.

99 secondes en tierces (*), & divisant ce produit par 360, on aura un quotient qui marquera à combien de tierces de temps correspond un degré du pyrometre ; on trouve 16 tierces $\frac{1}{2}$; donc le pendule qui s'alonge de $\frac{1}{360}$ de ligne, doit retarder de 16 tierces $\frac{1}{2}$ en 24 heures : mais nous venons de voir (1707) qu'une verge de pendule à secondes, mise à la glace, & qui passe ensuite à 27 deg. au-dessus, s'alonge de $\frac{73}{360}$; donc l'horloge à laquelle ce pendule seroit appliqué, retarderoit de 73 fois 16 tierces $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, de 20 secondes 4 tierces $\frac{1}{2}$ en 24^{h}; d'où il suit qu'une horloge qui est reglée en été à 27 deg. de température, doit avancer en hiver au terme de la glace de 20 secondes 4 tierces $\frac{1}{2}$ en 24 heures, & ainsi de suite à proportion que la différence dans la température est plus grande ou plus petite.

1711. D'où il suit que si l'on place à côté du pendule d'une horloge à secondes un thermometre gradué comme celui de M. de Réaumur, on pourra juger, par le changement du thermometre, des variations que la différence dans la température produit à l'horloge.

1712. Quand on connoît la quantité dont il faut hausser ou baisser la lentille d'une horloge à secondes, pour produire un écart donné en 24 heures, &c, on en conclut facilement la quantité, dont il faut hausser ou baisser la lentille de tout autre pendule court ou long, afin de produire le même écart dans le même temps ; ce que l'on a par le principe suivant qui est une suite des loix établies sur les pendules.

PRINCIPE.

1713. *Les quantités dont il faut alonger ou accourcir des pendules quelconques pour produire le même écart, sont comme les longueurs de ces pendules.*

1714. Sachant donc que pour faire retarder l'horloge à secondes d'une minute en 24 heures, il faut alonger le pendule de $\frac{60}{100}$ (1709) $= \frac{6}{10}$, on fera la proportion : La longueur du

(*) Une tierce est la 60e partie d'une seconde (4).

pendule

pendule à secondes est à la longueur du pendule donné, comme la quantité ($\frac{6}{10}$) dont il faut alonger le pendule à secondes pour produire un écart donné, est à la quantité dont il faut alonger le pendule donné pour produire le même écart.

1715. On demande, par exemple, combien on doit hausser la lentille d'un pendule qui fait 10800 vibrations par heure, pour faire avancer l'horloge d'une minute en 24 heures (un tel pendule est 9 fois plus court que celui à secondes, puisqu'il fait 3 vibrations, tandis que celui à secondes en fait une); on aura donc la proportion $9 : 1 :: \frac{6}{10} : x = \frac{6}{90} = \frac{1}{15}$. C'est-à-dire, qu'il faudra accourcir ce pendule de la 15me partie d'une ligne pour faire avancer l'horloge d'une minute en 24 heures.

1716. Si on demande la quantité dont il faut toucher au pendule 4 fois plus long que celui à secondes, pour le faire avancer d'une minute en 24 heures, on fera la proportion; $1 : 4 :: \frac{6}{10} : x = \frac{24}{10} = 2$ lig. $\frac{4}{10}$.

1717. Il suit du principe ci-dessus que l'extension & contraction des verges de pendules produisent le même écart sur les longs & les courts pendules, c'est-à-dire, que si on expose deux horloges, l'une ayant un court pendule & l'autre en ayant un long, aux mêmes différences de température, ces deux horloges avanceront ou retarderont des mêmes quantités: car puisque les quantités dont il faut alonger ou accourcir un pendule quelconque pour produire un écart donné, sont proportionnelles aux longueurs des pendules (1713), & que d'ailleurs l'extension ou contraction des verges est aussi proportionnelle aux longueurs des pendules, ainsi que nous le ferons voir, Chapitre XXIII, il est évident que les écarts produits par une même différence de température sont les mêmes: il n'y a donc aucune préférence à donner au long ou court pendule, par rapport à l'extension ou contraction de la verge; car si d'un côté un pendule à secondes se dilate 9 fois plus que celui qui fait 3 vibrations par secondes; de l'autre, celui-ci, avec 9 fois moins de dilatation, produit un retard qui est exprimé par le quarré du nombre des vibrations dans le même

temps, c'eſt-à-dire dans le cas actuel, comme 9 à 1; donc le temps eſt le même.

CHAPITRE XXII.

Deſcription & calcul d'un Pendule compoſé, pour remédier à la dilatation & contraction de la Verge.

1718. Les expériences rapportées dans le Chapitre XX, & les calculs faits d'après dans le Chapitre précédent, prouvent ſuffiſamment la néceſſité de corriger les effets que la chaleur & le froid produiſent ſur les verges des pendules, ſur-tout pour celles qui ſont appliquées aux horloges d'obſervation des Aſtronomes. Nous allons expliquer la maniere d'y parvenir & de calculer exactement les dimenſions que l'on doit donner à chaque ſorte de verges, afin de produire une parfaite compenſation.

1719. Il eſt conſtant d'abord, par ce que nous avons vu ſur les alongements des métaux, qu'il eſt plus avantageux d'employer de l'acier que du fer, pour faire des verges de pendule, puiſqu'il s'alonge moins que les autres métaux; & qu'ayant d'ailleurs plus de dureté, il eſt moins ſuſceptible de flexion & d'affaiſſement par le poids de la lentille; mais s'il eſt préférable d'employer de l'acier dans le cas où la verge du pendule eſt ſimple, il ne l'eſt pas moins, lorſque l'on veut compoſer une verge propre à compenſer l'effet de la dilatation & contraction; car la verge qui doit compenſer cet effet, devra moins s'alonger; par conſéquent elle aura plus de corps, & d'autant moins à craindre l'affaiſſement cauſé par le poids de la lentille.

1720. Le meilleur moyen à mettre en uſage pour éviter

& l'affaissement des parties de la verge & sa flexion, c'est, 1°, de se servir, comme je viens de le dire, de verges d'acier; c'est, 2°, de donner la plus grande longueur possible au métal qui doit compenser l'alongement; & dans ce cas, la dilatation de ce métal devra d'autant moins surpasser celle de la premiere verge d'acier; ainsi ce corps aura d'autant plus de dureté: enfin, c'est d'assembler les verges de maniere qu'en agissant séparément les unes des autres selon leur longueur, elles ne puissent s'écarter ni fléchir: c'est ce que l'on verra ci-après, en suivant nos tentatives qui nous ont mené par un chemin à la vérité un peu long, à toutes les précautions requises pour avoir un pendule qui compense aussi parfaitement qu'il est possible les variations produites par la différence des températures.

Description de la premiere Verge, que j'ai composée, pour éviter l'alongement du Pendule par le chaud, ou son raccourcissement par le froid.

1721. CE Pendule représenté (*Planche XXV, fig.* 2), est composé de trois verges: la premiere *AG* est d'acier; la seconde *HI* de cuivre; & la troisieme *KV* aussi d'acier; ces trois verges sont assemblées de maniere qu'elles ne peuvent s'écarter les unes des autres d'aucun côté; pour cet effet, elles sont assemblées par des rainures faites dans la longueur des verges; la boîte *Z* (*fig.* 1) & les brides *E*, *F* les retiennent ensemble, de sorte que ces verges ne peuvent que monter & descendre, ce qu'elles font séparément les unes des autres.

1722. La verge *AG* porte en *A* la vis qui passe à travers la piece ou couteau *T* (*fig.* 1, & vue *Pl. XXVI. fig.* 7).

1723. L'écrou *V* retient cette verge avec le couteau, ensorte que le point de suspension du pendule est situé à l'angle du couteau; le bout inférieur *G* de la verge *AG* (*Pl. XXV*), porte le talon *G*, sur lequel pose le bout de la verge de cuivre *HI*; le bout supérieur *I* de cette verge, porte une cheville qui passe à travers le levier *B*, vu en perspective (*fig.* 3);

ce levier eſt mobile en *c* ſur une eſpece de dent portée par la piece *C*, ou en perſpective (*fig.* 3); la troiſieme verge *VK*, porte en *a* une cheville qui paſſe à travers l'entaille du levier; le bout inférieur de cette verge porte le talon *V* qui entre dans la lentille *X*, (*fig.* 1), laquelle eſt fixée au talon par le moyen d'une cheville *X* qui la traverſe par ſon centre; la peſanteur de la lentille fait donc deſcendre la verge *VK*, juſqu'à ce que la cheville *a* preſſe le levier *B*, & que l'entaille de celui-ci preſſe la cheville *b* portée par la verge de cuivre, & que par conſéquent le bout inférieur *H* poſe ſur le talon *G* de la verge *AG*.

1724. Si donc on ſuppoſe cet aſſemblage ainſi ſuſpendu, & que dans cet état on faſſe chauffer le pendule, on doit voir que lorſque la chaleur alonge la verge *AG* de 13 parties (*) la verge *HI*, que je ſuppoſe de même longueur, s'alongera de 22 parties; or la partie *I* de la verge de cuivre ſera donc montée de 9 parties au-deſſus d'un point correſpondant de la verge *AG*, puiſque l'excédent de ſon alongement ſur la verge *AG* eſt 9, & que d'ailleurs le talon *G* la retenant par en bas, il faut que cet excédent monte au-deſſus de *I*; or la cheville *b* fera parcourir au levier *B* au point *a*, un eſpace qui ſera à celui parcouru par la cheville *b*, comme *ac* eſt à *bc*. Ainſi la partie *a* de l'entaille du levier remontera la verge *VK* d'une plus grande quantité que les 9 parties excédentes en *d*; donc en ſuppoſant que la verge *VR* ne s'eſt pas alongée, la lentille que cette verge porte ſeroit remontée de 9 parties qui ſeroient encore augmentées par la différence qu'il y a de l'eſpace parcouru en *a*, à celui parcouru en *b*; mais pendant que les deux verges *AG*, *HI*, ſe ſont alongées, l'une de 13, l'autre de 22, la verge *VK* que j'ai ſuppoſée de même longueur, s'eſt auſſi alongée de 13 parties: ainſi pour que la lentille ne ſe trouve ni plus haute ni plus baſſe par l'effet d'une variation de température dans

(*) Nous ſuppoſons ici que la dilatation de l'acier eſt à celle du cuivre, comme 13 eſt à 22, ſelon que nous l'avions trouvé par nos premieres expériences; & quoique les dernieres donnent un rapport différent, comme la différence n'eſt pas conſidérable, nous laiſſons ſubſiſter ce calcul qui étoit fait avant les dernieres expériences.

l'air, il faut que le point a du levier ait parcouru un espace exprimé par 13, tandis que b en a parcouru un exprimé par 9; voilà en gros l'effet de ce méchanisme. Nous avons supposé que les verges étoient toutes trois de même longueur; or dans ce cas, le levier devroit en effet parcourir des espaces dans le rapport que nous avons dit; mais comme la verge KV est aussi d'une différente longueur, les dimensions du levier devront changer : nous allons donc les déterminer par le calcul suivant.

1725. La verge AG a trois pieds une ligne de longueur, prise du point de suspension jusqu'au talon qui porte les verges de cuivre, lesquels réduits en lignes donnent 433 lig. la verge de cuivre HI a 2 pieds 11 pouces 4 lignes, prise de la cheville b au talon $G = 424$ lignes.

1726. La verge d'acier KV a 3 pieds 3 lignes depuis la cheville a au centre de la lentille, ce qui fait 435 lignes : on fera donc la proportion suivante pour trouver l'alongement de la verge AG, laquelle est plus longue qu'on ne l'avoit supposée, en disant : Si une verge d'acier qui a 424 lignes (longueur de la verge de cuivre), s'est alongée de 13 parties, combien s'alongera une verge AG, qui a 433 lignes; $424 : 13 :: 433 : x = 13\frac{117}{424}$. On trouve qu'une telle verge s'est alongée de $13\frac{117}{424}$: or le cuivre s'est alongé de 22 parties pendant ce même temps; il faut donc trouver l'excès de son alongement sur la verge AG; cet excès est de 8 parties plus $\frac{307}{424}$.

1727. On trouvera aussi l'alongement de la verge KV, par la même proportion $424 : 13 :: 435 : x$; on trouve que cette verge s'est alongée de $13 + \frac{143}{424}$.

1728. Pour que le chaud ne fasse ni monter ni descendre la lentille, il faut que l'espace parcouru par le point a de la verge KV, soit à l'espace parcouru par le point b de la verge HI, comme l'alongement de la verge KV, est à l'excès de la verge de cuivre sur la verge AG; par conséquent la longueur ac du levier doit être à la longueur bc dans le même rapport.

1729. J'appelle x la distance de a en c; on aura donc

la proportion; $ax : bx :: 8\frac{307}{424} : 13\frac{143}{424}$; & réduisant au même dénominateur, on a $ax : bx :: 3699 : 5655$.

1730. Maintenant pour trouver la distance du point *c* à celui *b*, on le fera de la maniere suivante : on nommera *a* l'intervalle connu de *a* en *b*; la proportion deviendra $x : a + x :: 3699 : 5655$; donc en multipliant les extrêmes & les moyens, on aura $5655\,x = 3699\,a + 3699\,x$ & $5655 - 3699\,x = 3699\,a$; ou $1956\,x = 3699\,a$, donc $x = \frac{3699a}{1956}$.

1731. Or, en supposant que la distance de *a* en *b* est de 6 lignes, qui réduites en 12emes font 72, on multipliera 3699 par 72, & on divisera le produit par 1956; on aura pour quotient $\frac{136}{12}$, qui font 11 lignes $\frac{4}{12}$; c'est-à-dire, que la distance du point *b* au centre de mouvement *c* du levier sera de 11 lig. $\frac{1}{3}$; & la distance de *a* à *c* sera 17 lig. $\frac{1}{3}$; les espaces parcourus par *a* & *b*, seront donc entr'eux comme 5655 est à 3699; le froid & le chaud ne changeront donc pas la distance du centre de la lentille au point de suspension.

1732. Il faut au reste observer, que quoique le calcul donne exactement le rapport cherché, il peut fort bien arriver que la différence d'alongement d'acier au cuivre ne soit pas exactement, comme nous l'avons dit; car les différentes sortes d'acier & de cuivre changent ces rapports; d'ailleurs les verges étant chargées d'une lentille plus ou moins pesante, se dilateront différemment : c'est pour suppléer à cet obstacle que j'ai disposé le levier *C c*, de maniere à pouvoir éloigner ou approcher de *b* le centre de mouvement *c*, afin de changer le rapport entre les espaces parcourus par *a* & *b*; pour cet effet, j'ai placé dans l'épaisseur de la verge *AG*, la vis de rappel *D*, qui fait mouvoir le levier *C*; or les chevilles *a*, *b* gardent toujours la même distance entr'elles, ainsi la distance *b c* devenant plus grande ou plus petite, les espaces parcourus par *a* & *b* seront dans des rapports différents.

Expérience faite le 14 Janvier 1760, ſur le Pendule que nous venons de décrire, & dont la Lentille peſoit 63 livres.

1733. J'AI appliqué ce pendule tout monté ſur le pyrometre ; le froid extérieur qui le frappoit étoit de 5 degrés au-deſſous de la glace ; l'aiguille du pyrometre étoit à zéro : ayant mis l'étuve, le thermometre eſt monté à 32 degrés, & l'aiguille du pyrometre a parcouru $\frac{80}{360}$; la verge du pendule s'eſt donc autant alongée que ſi elle eût été toute ſimple : je ne pus attribuer cet effet qu'à l'affaiſſement prodigieux que cauſe la lentille. Après que j'eus ôté l'étuve, le même degré de froid ne fut pas capable de remonter la lentille, enſorte que le pendule reſta plus long de $\frac{18}{360}$ de ligne : J'ai trouvé le même défaut aux pendules de Rivaz, que j'ai examinés ; un entr'autres, qui appartient à M. Camus ; après l'expérience, il reſta plus long qu'auparavant de $\frac{27}{360}$ de ligne.

1734. Je remis à corriger mon pendule juſqu'au mois de Janvier 1761 : je pris alors le parti de refaire une lentille plus légere ; elle a 8 pouces de diametre, 22 lignes d'épaiſſeur, & peſe 21 livres. Après avoir mis le pendule tout monté dans la glace pilée, & laiſſé pendant quelques heures, je l'ai enſuite appliqué ſur le pyrometre, mis l'étuve & fait chauffer ; le thermometre eſt monté a 36 degrés, & l'aiguille du pyrometre a parcouru 12 degrés ; j'ai ôté l'étuve, & le pendule a exactement repris la même longueur, expoſé au froid de la glace ; ce qui prouve que les écarts qu'il faiſoit auparavant étoient produits par l'affaiſſement de la lentille : il reſtoit cependant encore un petit écart produit par la chaleur ; mais ayant calculé de nouveau les dimenſions du pendule, d'après nos dernieres expériences, qui déterminent les rapports de dilatations de l'acier au cuivre, comme 74 eſt à 121, au lieu de 13 à 22, que nous avions employés ; enfin, il y avoit erreur dans le calcul : j'ai donc trouvé que la diſtance du centre de

mouvement du levier à la cheville *b*, doit être de 8 lig. $\frac{5}{12}$; je l'ai donc rapproché en conséquence, & remis de nouveau le pendule dans la glace, ensuite sur le pyrometre; il ne s'est alongé que de $\frac{8}{360}$ pour 47 deg. de chaleur: or cette petite variation est produite par la pression de la lentille, laquelle agit assez fortement sur la verge de cuivre pour diminuer son extension, & par conséquent pour empêcher une exacte compensation; car quoique cette lentille ne pese que 21 liv. & que les verges soient fortes, comme l'action de la lentille sur la verge de cuivre est augmentée en raison de la plus grande longueur du levier *a c* sur *b c*, il arrive qu'elle agit, non avec 21 liv. mais avec 34 liv. la lentille est donc encore trop pesante relativement à la force des verges. Nous établirons plus exactement ci-après les limites de la masse qu'une verge donnée peut supporter sans s'affaisser.

Construction d'une Verge de Pendule, composée de deux regles : Expériences faites sur cette Verge.

PLANCHE XXII. FIGURE 2.

1735. Ce pendule est formé par deux verges seulement: la verge *B C* est d'acier; elle porte le couteau *N*, qui sert à la suspendre sur des coussinets d'acier. *E D*, est une verge de cuivre, dont la partie supérieure pose contre le talon fait à la verge d'acier; la partie inférieure *D* porte un lardon *a* qui agit sur le levier *G*, mobile en *G*, & dont l'autre partie agit sur la cheville *c* qui tient à la piece *F* à laquelle est suspendue la lentille; ainsi lorsque le cuivre par son alongement agit sur le levier *G*, celui-ci remonte la lentille qui, portée, comme je viens de le dire, par la piece *F*, peut monter & descendre sur l'assemblage (*fig.* 3).

1736. La fourchette *F R* (*fig.* 5), porte deux chevilles; celle *c* traverse la fente *c* faite au bas du pendule vu (*fig.* 3); &

& l'autre *m* traverſe la fente *m* de la même figure 3 : la fourchette peut par ce moyen monter & deſcendre, ſelon la longueur du pendule, & ſans pouvoir vaciller : la cheville *c* eſt ſaillante en dehors des deux côtés de la fourchette, afin de recevoir l'action du levier *G* (*fig.* 2), & vu en perſpective & de profil (*fig.* 4): on voit que ce levier eſt fait en fourchette par un bout, afin de pouvoir embraſſer les deux côtés de la verge *C* (*fig.* 3) & de la fourchette *F* (*fig.* 5); de cette maniere ſon action ſe fait avec une moindre *flexion*; ce levier *G* eſt mobile ſur une cheville qui traverſe le trou *g* fait à la verge *C* (*fig.* 3).

1737. Pour empêcher que le bas de la verge de cuivre *D* ne s'écarte de celle d'acier, cette derniere porte une petite *languette h* (*fig.* 3), qui entre dans la fente *i*, faite à la verge de cuivre : ces verges ne peuvent donc ſe mouvoir que ſelon leur longueur; elles ſont retenues dans le reſte de leur longueur par les brides *I*, *K*, *L*, *M* (*fig.* 2).

1738. Le lardon *a* (*fig.* 2) ſe meut ſelon ſa longueur; par le moyen de la vis de rappel *d*; cet effet eſt néceſſaire pour chercher le point de contact convenable pour la compenſation (1732).

1739. *OP* (*fig.* 2) eſt une portion de cercle, graduée pour ſervir à marquer les changements de température que le pendule éprouve : l'aiguille *gh*, ſert à marquer ces changements; cette aiguille mobile en *g*, ſur une broche attachée à la verge de cuivre, porte un petit talon qui poſe ſur une cheville qui eſt fixée ſur la fourchette *FR*; ainſi le mouvement de la fourchette, produit par l'excès de dilatation de la verge de cuivre, fait mouvoir l'aiguille de cette eſpece de thermometre.

1740. *T* (*fig.* 5) eſt une piece qui ſe met au bas de la lentille, pour empêcher que l'angle de la lentille ne porte immédiatement ſur l'écrou; cette piece *T* porte un index, au moyen duquel on voit de combien on tourne l'écrou; l'écrou eſt gradué comme on le voit en *Q* (*fig.* 5).

1741. On voit qu'un tel pendule ſeroit très-défectueux,

à moins que l'on n'eût grand soin de proportionner la pesanteur de la lentille à la force des verges ; car si la lentille pese 40 liv. elle agira avec une force de 130 liv. puisque, pour la compensation, il faudroit que le lardon *a* agit à 1 lig. $\frac{10}{12}$ du centre du levier *G*, pendant que *Gc* de ce levier auroit 6 lig. ainsi l'action de la lentille tend à écarter le talon (*fig.* 2), à faire fléchir & affaisser les verges ; c'est ce que j'ai vu par expérience, en appliquant le pendule sur le pyrometre, & en faisant appuyer le crochet *A* sur le levier du pyrometre ; alors si on appuyoit sur la lentille, elle descendoit & restoit au point où on l'avoit conduite ; & si on la soulevoit, elle faisoit la même chose ; de maniere qu'elle varioit de près d'une demi-ligne en tout, ce qui est un très-grand défaut, qui rend préférable une verge simple ; car si foible qu'elle soit, elle n'a pas un tel inconvenient : les verges que j'avois employées étoient cependant fortes, & j'avois réduit la lentille de 21 liv. à 15 liv. Or ayant appliqué ce pendule sur le pyrometre, & fait passer du froid au chaud, il a fait des écarts beaucoup plus grands que n'auroit fait une simple verge. Pour faire usage d'un tel pendule, il faut donc employer des verges extrêmement fortes, & une lentille très-légere ; mais on fera encore mieux de n'exécuter jamais un tel pendule.

Description du Pendule à Canon de M. Rivaz.

1742. La (*fig.* 9, *Pl. XXIII*) représente ce pendule tout monté avec sa suspension. *AB* est un canon de fusil, dont le bout supérieur *B* est taraudé en dedans pour recevoir la vis *d* de la piece de suspension *cd* (*fig.* 10) ; c'est sur cette piece ou fourchette que se fixe en *c* le couteau qui se meut dans la gouttiere du support *b* vue en *a* & *b* (*fig.* 10) : ce support se meut sur le bout prolongé des vis *ef* (*fig.* 9), ensorte que le pendule prend facilement son aplomb. Pour empêcher que les côtés de la fourchette *c* (*fig.* 10) ne frottent sur les côtés du support, celui-ci est traversé par une cheville qui entre dans une petite entaille du couteau, ensorte qu'il a seulement la liberté de se mouvoir sur lui-même, sans pouvoir se déplacer sur sa longueur.

1743. *C D* eſt le canon de *compoſition métallique*; il entre juſte dans *A B*, & poſe ſur l'extrémité inférieure du canon de fuſil; le canon *C D* eſt percé dans ſa longueur, pour y laiſſer paſſer librement la broche de fer (*fig.* 11), dont le talon *E* poſe ſur l'extrémité ſupérieure du canon de métal; l'autre bout de cette verge eſt taraudé pour recevoir l'écrou qui porte la lentille.

1744. Pour qu'un tel canon métallique compenſe la dilatation de celui de fer, il faut que ſon extenſion ſoit plus que double de celle du fer, c'eſt-à-dire, qu'il faut que le canon métallique ſoit preſque entierement de plomb (*1696*); car ſi on mêle un peu trop d'antimoine pour le durcir, il ne ſe dilatera pas ſuffiſamment; or ſi on emploie du plomb, il faudra que ce canon ſoit très-gros & la lentille légere, ſans quoi le poids de celle-ci affaiſſeroit le métal: j'avois fait quelques recherches là-deſſus, & j'étois parvenu à faire un métal qui ſe dilatoit dans ce rapport convenable; mais il eſt très-difficile de faire deux canons de ſuite qui ayent la même extenſion; car ſi en les fondant, on chauffe plus ou moins la matiere, elle n'eſt plus extenſible de la même quantité: d'ailleurs ces pendules ne peuvent, indépendamment de cet obſtacle, procurer une grande juſteſſe, à cauſe de l'extenſion différente de la lentille, de la chaleur qui n'agit pas en même temps ſur toutes les parties du pendule, &c: cependant ſi ces pendules ne peuvent ſervir pour les horloges aſtronomiques, il eſt certain qu'on pourroit les employer dans les horloges ordinaires; cela ſeroit ſans contredit préférable aux ſimples verges: c'eſt par cette raiſon que je l'ai placé ici; je me ſerois même étendu ſur ſa conſtruction, ſi je ne paſſois de beaucoup les bornes que je m'étois preſcrites pour cet Ouvrage.

Remarque ſur la maniere de graduer l'écrou pour régler l'Horloge.

1745. J'AI dit (1740) que l'écrou qui eſt mis au bas du pendule eſt gradué, ce qui ſert à régler l'horloge: ces

divisions de l'écrou sont communément faites au hazard, ensorte que l'on ne sait pas combien il faut le tourner d'un ou d'autre côté, pour faire avancer ou retarder l'horloge d'une seconde, par exemple, en 24 heures; cependant il est très-facile de graduer les écrous : pour produire cet effet, il ne faut que mesurer la distance des filets de la vis du pendule, & mettre autant de divisions sur l'écrou que le filet contient de centiemes de ligne, lorsque c'est un pendule à secondes : Voyez (1709 & 1713).

1746. Pour mesurer le chemin que fait l'écrou à chacune de ses révolutions, je me sers du pyrometre : pour cet effet, j'applique le pendule & son écrou tel qu'il est vu (*Pl. XXIV, fig.* 2) sur cet instrument, & j'attache au centre de la lentille une piece coudée *p*, dont le bout va poser sur le rateau : dans cet état, j'amene l'aiguille du pyrometre en *c*, ce qui se fait en tournant l'écrou du pendule; pour lors je fais une marque à l'écrou vis-à-vis l'index; je note la division où l'aiguille du pyrometre est arrêtée; ensuite tournant l'écrou, pour que l'aiguille vienne de *c* en *d*, je fais faire un tour exactement à l'écrou; cela fait, je compte le nombre de divisions que l'aiguille du pyrometre a parcouru.

1747. Je suppose que l'aiguille du pyrometre ait fait parcourir 145 degrés pour un tour de l'écrou, on multipliera 145 par 16 tierces $\frac{1}{2}$, qui répondent à un degré du pyrometre, (1710), ce qui donnera 39 secondes 52 tierces, c'est-à-dire, que cet écrou en faisant un tour feroit avancer ou retarder l'horloge de 39 secondes 52 tierces en 24 heures, ou très-à-peu-près 40 secondes : donc en divisant l'écrou en 80 parties, chaque demi-division fera avancer l'horloge d'une demi-seconde, & deux de ces divisions la feront avancer d'une seconde, ce que l'on avoit demandé; mais il est bon d'observer que telle précision que l'on employe pour exécuter la vis, il y aura toujours quelque inégalité; & qu'ainsi cela ne produira pas exactement ce que donne le calcul; d'ailleurs, on a supposé que le pendule devenant plus long & plus court d'une ligne, fera avancer ou retarder l'horloge de 99 secondes, ce

qui n'eſt pas exactement vrai dans le pendule composé ; au reſte, cela ne differe que d'une infiniment petite quantité, lorſqu'on alonge ou qu'on raccourcit le pendule que de peu ; ce qui doit toujours arriver dans une horloge à ſecondes, qui eſt à peu-près reglée ; ainſi ces petites difficultés n'empêchent pas que l'on ne doive employer un écrou, dont les diviſions ſoient calculées pour faire avancer ou retarder l'horloge de tant en 24 heures, ce qui eſt très-commode ; mais il faut encore obſerver que le pas de vis le plus fin ſera le meilleur ; ainſi un pas de vis qui ne feroit parcourir en un tour d'écrou que 72 degrés du pyrometre ſeroit préférable ; car outre que cela diviſe les petites inégalités de la vis, on peut de plus ſubdiviſer chaque degré de l'écrou, comme en $\frac{1}{2}$ deg. en $\frac{1}{4}$, en $\frac{1}{3}$, &c ; ce qui ſera d'un grand uſage dans le cas où une pendule auroit avancé ou retardé d'une petite quantité en pluſieurs jours.

CHAPITRE XXIII.

Des Verges compoſées pour corriger, de la maniere la plus avantageuſe, les effets de la dilatation & contraction des Métaux. Du calcul & dimenſions de ces Verges.

I. PROPOSITION pour ſervir à ce Calcul.

1748. L*ES alongements que la chaleur produit ſur un même métal ſont en raiſon de la longueur du métal : ainſi lorſqu'un degré quelconque de chaleur produit un alongement* a *ſur une longueur donnée* x, *l'alongement deviendra double de* a, *lorſque cette même chaleur agira ſur une longueur double de* x : ce qui eſt évident ; car l'alongement des métaux par la chaleur eſt l'effet de l'air qui s'introduit dans les pores du métal : or ſi on double

la longueur d'un corps homogene, en conservant ses autres dimensions, il y aura une fois plus de pores, & par conséquent la dilatation sera une fois plus grande : cette proposition est vérifiée par l'expérience.

II. PROPOSITION.

1749. *Si on a deux sortes de métaux, dont les dilatations à longueurs égales soient différentes ; pour obtenir des dilatations égales, il faudra que les longueurs soient en raison inverse du rapport d'alongement des deux métaux.* Si on a, par exemple, deux verges, l'une de cuivre & l'autre d'acier, qui ayent chacune 40 pouces de longueur ; si dans ce cas, l'alongement du cuivre est à celui de l'acier, comme a est à b, ou comme 22 à 13, pour avoir une verge d'acier, dont l'alongement soit $a = 22$, il faut que la longueur de cette verge d'acier soit à la longueur de la verge de cuivre, comme l'alongement du cuivre est à l'alongement de l'acier. On trouvera donc par une regle de Trois 67 pouces $\frac{9}{13}$: cette proposition est une suite de la premiere ; car les alongements d'un même corps étant proportionnels à ses différentes longueurs, lorsqu'on double la longueur d'un corps, on double l'extension que produit la chaleur : si donc on veut qu'une verge produise un alongement de 22 au lieu de 13 (en supposant la même chaleur), on augmentera la longueur dans le rapport de 22 à 13.

1750. Nous employerons dans la suite ces deux propositions, pour construire le plus avantageusement des verges de pendules qui remédient à la dilatation des métaux, c'est-à-dire, qui soient tels que la distance du centre d'oscillation de la lentille à celui de suspension soit toujours la même.

1751. Nous avons traité jusques ici des pendules composés, où l'on applique un levier pour multiplier l'espace parcouru par le cuivre, afin de remonter la lentille ; mais il est bon d'observer que ces machines ont un défaut assez essentiel, c'est que la pesanteur de la lentille agissant sur la grande partie du levier, & conséquemment par voie de mul-

tiplication sur la verge de cuivre, il arrive que cette pression est assez forte pour faire fléchir les verges & les courber, ensorte que le centre de la lentille n'est point fixe, mais qu'il monte ou descend, selon que l'on appuie sur la lentille; & si on la souleve, elle ne reprend pas sa position, mais elle reste d'équilibre avec le ressort des verges, & d'autant plus que la pression de la lentille se fait obliquement sur des verges coudées: or il arrive à de telles verges, que la chaleur & le froid font faire des écarts considérables à la lentille, quoique ces verges soient dans le rapport convenable; mais le ressort des verges, causé par la pression multipliée de la lentille, produit ces écarts. Pour parer à cet obstacle, j'ai construit des verges où la longueur du cuivre est assez grande pour corriger la dilatation des verges d'acier, sans qu'il soit nécessaire d'agir par voie de multiplication; & j'ai par ce moyen supprimé ce que j'appelle, *Levier de compensation.*

1752. Comme l'acier s'alonge moins que le fer, il faut se servir préférablement de verges d'acier: & le cuivre étant plus dur que le plomb, & ses alongements étant assez constamment les mêmes, on se servira de cuivre pour remonter la verge qui porte la lentille: or, à longueur égale, l'alongement de l'acier est à celui du cuivre, comme 13 à 22.

1753. Il est possible de faire une verge composée qui remédie parfaitement aux effets du chaud & du froid; mais pour y parvenir, il faut que le métal dont on se sert soit assez dur, pour n'être pas sujet à la flexion que produit le poids de la lentille. Le cuivre est très-bon pour cet effet; mais il faut que la verge soit fort longue, & telle, qu'il ne soit pas besoin d'employer un levier pour multiplier la quantité dont elle s'alonge de plus que la premiere verge; il faut qu'elle porte simplement par en haut sur un talon de la troisieme verge: pour y parvenir, j'avois d'abord imaginé de me servir d'un métal composé de plomb & d'antimoine, lequel s'alonge plus que le cuivre; or dans ce cas, la verge de métal n'exigeroit pas une si grande longueur; mais il vaut beaucoup mieux y employer du cuivre, & faire descendre la verge

3 ou 4 pouces au-dessous de la lentille ; & pour retenir la lentille avec l'écrou, employer une boîte de cuivre, dont l'alongement serviroit encore à remonter la lentille, & compenseroit l'alongement des verges d'acier ; de cette maniere, une telle verge pourra porter une lentille pesante sans craindre d'affaissement.

PROBLEME.

1754. TROUVER les longueurs des verges *ab*, *cd*, *ef*, & de la boîte *BB* (*Pl. XXIII*, *fig.* 8) pour qu'elles soient telles que l'alongement de la verge *cd*, & de la boîte *B* de cuivre compense l'alongement des verges *ab* & *ef* d'acier.

1755. Selon le principe (1749), il faut que les longueurs des verges d'acier soient aux longueurs de celles de cuivre, comme l'alongement du cuivre est à celui de l'acier : il faut donc que l'on ait la proportion $ab + ef : dc + BB :: 22 : 13$. J'appelle z la longueur de la boîte *BB* : la longueur de la verge *ab* est égale à celle de la verge *ef* : la verge *cd* est de deux pouces plus courte que la verge *ab*, laquelle est la somme de 37 pouces, distance du point de suspension au centre de la lentille, de 4 pouces de rayon de la lentille, & de la longueur z de la boîte moins 2 pouces. Ainsi l'expression analytique de *ab* & de *ef*, est $37 + 4 + z - 2$, ou $39 + z$; celle de *cd* est $37 + z$, & par conséquent celle de la proportion précédente devient $78 + 2z : 37 + 2z :: 22 : 13$. En multipliant les extrêmes & les moyens, on a l'équation $1014 + 26z = 814 + 44z$, transposant $1014 - 814 = 44z - 26z$, réduisant $200 = 18z$, enfin divisant $\frac{200}{18} = z = 11$ pouces $\frac{1}{9}$.

1756. La longueur de la boîte étant donc de 11 pouces $\frac{1}{9}$, la longueur totale du pendule sera de $37 + 4 + 11\frac{1}{9} = 52$ pouces $\frac{1}{9}$, depuis le point de suspension jusqu'à l'écrou. La verge *ef* qui porte la lentille, ne monte que de 2 pouces en-dessous du point de suspension ; elle a donc pour longueur 50 pouces $\frac{1}{9}$, ainsi que la verge *ab* ; & celle de cuivre ayant, comme je l'ai dit, deux pouces de moins que la verge *ab* ou *ef*, aura $48 + \frac{1}{9}$.

1757. Pour vérifier ſi on a bien opéré, on peut prendre la ſomme des longueurs des deux verges d'acier qui ſont de 50 pouces $\frac{1}{9}$ chacune; les deux font 100 pouces $\frac{2}{9}$; il faut de même prendre la ſomme de la verge *c d*, qui eſt de 48 pouces $\frac{1}{9}$, & de la boîte *B* de 11 $\frac{1}{9}$, ce qui donne 59 pouces $\frac{2}{9}$, & faire la proportion 100 $\frac{2}{9}$: 59 $\frac{2}{9}$: : 22 : 13; & réduiſant en neuviemes, on a 902 : 533 : : 22 : 13 : or le produit des extrêmes étant égal au produit des moyens, c'eſt une preuve que les longueurs que l'on a trouvées ſont telles qu'on les demande.

1758. J'ai conſtruit une verge de pendule qui remédiera encore mieux aux effets du chaud & du froid. Au lieu de faire deſcendre la verge au-deſſous de la lentille, & d'ajouter la boîte, comme nous avons dit ci-devant, je fais le pendule de trois verges d'acier & de deux de cuivre, en donnant une longueur aux verges d'acier qui ſoit aux verges de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier.

Deſcription de ce Pendule.

PLANCHE XXIII, FIGURE 7.

1759. *a b* eſt une verge d'acier, dont la partie ſupérieure *a* tient à la ſuſpenſion; le bout *b* eſt fait avec un talon ſur lequel poſe le bout *c* de la verge de cuivre *c d*; ſur l'autre bout *d* de cette verge poſe le talon *e* d'une verge d'acier *e f*; le bout *f* de cette verge porte auſſi un talon, ſur lequel poſe une ſeconde verge de cuivre *l n*, dont le bout ſupérieur *n* reçoit le talon d'une troiſieme verge d'acier *g h*, dont le bout prolongé *i* paſſe à travers la lentille, & la porte au moyen d'un écrou. Nous allons chercher les dimenſions des verges de ce pendule, dont les verges *d c*, *e f*, & la deuxieme *l n* de cuivre ſeront de même longueur.

1760. La diſtance du centre de la lentille au point de ſuſpenſion eſt de 37 pouces; la lentille a 8 pouces de diametre; l'intervalle qu'il y a du bas de la lentille au point de ſuſpenſion eſt de 41 pouces : il faut trouver la longueur de chaque

verge, enſorte que celles des verges d'acier ſoient à celles des verges de cuivre, comme l'alongement du cuivre eſt à celui de l'acier ; pour cet effet, je nomme x la longueur de la verge ab ; l'excès de la longueur de la verge ab ſur celle des verges dc, ef, ln, eſt de 30 lignes ; l'intervalle de i en m eſt de 41 pouces ou 492 lig. j'ai donc la proportion ſuivante : $x + x - 30 + 492 - 30 : x - 30 + x - 30 :: 22 : 13$; ou bien $2x + 432 : 2x - 60 :: 22 : 13$: donc $26x + 5616 = 44x - 1320$; ou, en tranſpoſant & réduiſant, $6936 = 18x$: donc $x = 385\frac{1}{3}$. Ainſi ab ſera de 385 lig. $\frac{1}{3}$; cd ſera de $355\frac{1}{3}$; ef & ln de même longueur ; & enfin im ſera de 462 lignes. Si pour vérifier ce calcul, on fait une ſomme des longueurs des verges d'acier, & une autre de celles des verges de cuivre, en les mettant en proportion avec 22 & 13, & prenant le produit des extrêmes, on le doit trouver égal à celui des moyens : ainſi on aura l'alongement de l'acier corrigé par celui du cuivre, ce que l'on demandoit. Voici les longueurs de ces verges :

$ab = 385\frac{1}{3}$.
$ef = 355\frac{1}{3}$.
$im = 462$.
$1202\frac{2}{3}$, longueurs des verges d'acier.

$cd = 355\frac{1}{3}$,
$ln = 355\frac{1}{3}$,
$710\frac{2}{3}$, longueurs des verges de cuivre.

Réduiſant en tiers, l'on aura $3608 : 2132 :: 22 : 13$; multipliant les extrêmes & les moyens, on a le même produit 46904.

Deſcription d'un Pendule compoſé à chaſſis.

PLANCHE XXIII, FIGURE 12.

1761. LE pendule que nous venons de décrire m'a paru celui, de tous ceux que je connois, qui rempliſſe le mieux les conditions requiſes, & que nous nous ſommes preſ-

crites pour regle ; cependant j'y trouve encore un défaut, c'est que le poids de la lentille agit sur les parties coudées des verges *a b*, *g h* (*fig.* 7), de maniere qu'il peut encore leur faire éprouver une flexion. Je crois enfin être parvenu à réunir tout ce qui peut contribuer à faire une verge de pendule aussi parfaite qu'il est possible ; ayant levé l'obstacle du pendule précédent, en construisant celui que l'on voit (*fig.* 12). La piece *a b c d* ne forme qu'une verge ou espece de *chassis* d'acier, dont la partie supérieure *s* porte le couteau qui suspend le pendule ; *e f g h* est un second chassis de cuivre, dont la partie *f g* pose sur le bas du chassis *a b c d* ; *i l m n* est un second chassis d'acier, dont les talons *m*, *n* portent sur les bouts *g*, *h* du chassis de cuivre ; & *o*, *p* sont deux branches de cuivre, dont les parties inférieures posent sur le bas du chassis *i l* ; enfin *q r* est une verge d'acier, dont le talon *q* pose sur le bout supérieur des verges de cuivre *o*, *p* ; le bout inférieur *r* passe à travers les trois chassis ; il est taraudé pour recevoir l'écrou qui supporte la lentille qui n'est ici que ponctuée : le poids de la lentille est donc porté par les deux bouts de chaque verge, & passe ainsi au milieu, ce qui produit le même effet que si elle étoit portée par un canon ; d'ailleurs chaque verge supporte la moitié de la lentille, ce qui diminue l'affaissement ; la pression se fait perpendiculairement sans tendre à écarter les verges ; ces verges doivent donc se dilater, sans que la pression de la lentille leur fasse faire cette espece de ressort si préjudiciable ; & si l'on peut espérer de compenser l'effet de l'extension du pendule, j'ose me flatter que c'est en employant ce méchanisme : nous allons trouver les dimensions de cette verge, en attendant que nous rendions compte de son succès.

PROBLEME.

Trouver les dimensions du Pendule composé à chassis.

1762. Quoique le problême que nous venons de résoudre pour la verge (*fig.* 7) soit applicable à celle de la (*fig.* 12),

il eſt cependant à propos de le réſoudre plus exactement par la raiſon que nous avons ſuppoſé les verges *bc*, *de*, *ef*, de même longueur, ce qui ne peut pas être à cauſe de l'épaiſſeur des talons qui diminuent la longueur de ces verges & du jeu qu'il doit y avoir pour donner lieu à l'effet de la dilatation; nous ſuppoſons que la peſanteur de cette verge fera deſcendre le centre de la lentille à la diſtance de 38 pouces du point de ſuſpenſion, la lentille ayant 8 pieds de diametre.

Effet de ce Pendule.

1763. Le premier chaſſis d'acier *acbd* (*Pl. XXIII, fig* 12) s'alongeant par la chaleur, ſa traverſe inférieure *cd* s'éloigne du point *s* de ſuſpenſion; mais les regles de cuivre *ge*, *hf*, qui portent ſur cette traverſe, en s'alongeant en même temps un peu plus, élevent les talons *m*, *n* du ſecond chaſſis d'acier *mikn*, tandis que ce chaſſis s'alonge auſſi, enſorte que la traverſe *ik* de ce chaſſis deſcend un peu; mais les autres regles de cuivre *o*, *h* qui poſent ſur cette traverſe, élevent par leur excès de dilatation, les talons qui ſont au ſommet de la regle d'acier *qr* qui porte la lentille; enſorte que ſi la longueur des verges d'acier eſt à la longueur des verges de cuivre, comme la dilatation du cuivre eſt à la dilatation de l'acier, la compenſation aura lieu, c'eſt-à-dire, que le centre de la lentille ſera toujours à même diſtance du point de ſuſpenſion, quelle que ſoit la température où l'on expoſe le pendule.

1764. On voit que l'alongement de toutes les pieces d'acier qui entrent dans la compoſition de la verge du pendule, ſe fait, 1°, ſelon *sm* diſtance du point de ſuſpenſion au côté intérieur du premier chaſſis d'acier; 2°, ſelon la longueur du montant *ac*, meſurée dans l'intérieur de ce chaſſis. J'appelle *x* cette longueur, parce que c'eſt dans ſa détermination que conſiſte la ſolution du problême; 3°, ſelon la longueur du montant *mi*, meſurée auſſi dans l'intérieur du ſecond chaſſis *mikn*; 4°, ſelon la longueur de la verge *qr*, meſurée depuis le deſſous de ſes talons juſqu'au centre *L* de la lentille. De même, tout

l'alongement du cuivre se fait selon la longueur des montants *g* & *o*; car les côtés *b d*, *n k* des chassis d'acier & les regles de cuivre *h* & *p*, ne servent ici qu'a empêcher le devers des pieces qui composent la verge du pendule, & par conséquent leur longueur ne doit pas entrer dans le calcul.

1765. Cela posé, si on donne 5 lignes d'épaisseur à tous les talons des verges d'acier & aux traverses des montants, & si on suppose une ligne de jeu entre le haut de l'intérieur du premier chassis d'acier, & les talons *m n* du second, & autant dans l'espace *e i k f*, il est clair qu'à cause du talon *m* & de son jeu, la longueur du montant de cuivre *g e* est $x - 6$ lignes; à cause de l'épaisseur de la traverse *e f* de 5 lignes, du jeu *e i k f* d'une ligne, de l'épaisseur de la traverse *i k* du second chassis d'acier 5 lignes, de l'épaisseur 5 lignes des talons *q* de la regle *q r* & de son jeu une ligne, la longueur de la regle de cuivre *o* est $x - 17$ lignes: la somme des regles de cuivre est donc $2x - 23$ lig. la longueur *m e* de l'intérieur du montant du premier chassis d'acier est x; celle de l'intérieur du second chassis d'acier est $x - 17$ lignes, ayant même longueur que la seconde regle de cuivre *o*; enfin la troisieme regle d'acier, & qui porte la lentille, a pour longueur la distance du point de suspension au centre de la lentille (que je suppose de 38 pouces $= 456$ lig.), moins la distance *s* du point de suspension au point *m* du dessous du chassis, que je suppose de 30 lignes, & moins l'épaisseur *q* du talon qui est 5 lig. & son jeu une ligne; la longueur de cette regle *q L* est donc de $456 - 30 - 6$ lig. c'est-à-dire, de 420 lig. donc la longueur des pieces d'acier est $x + x - 17 + 420$ lig. Cela posé, en employant les nouvelles expériences qui nous ont donné le rapport de la dilatation du cuivre à celle de l'acier, comme 121 à 74, nous avons la proportion $2x - 17 + 420 : 2x - 23 :: 121 : 74$, donc $148x - 1258 + 31080 = 242x - 2783$, transposant & réduisant $32605 = 94x$, & par conséquent $x = \frac{32605}{94} = 346$ lig. $\frac{81}{94} = 28$ pouces 10 lignes $\frac{81}{94}$, d'où il est aisé de conclure toutes les dimensions des pieces de la verge composée.

REMARQUE.

1766. POUR détruire l'effet de l'affaissement causé par le poids de la lentille, il faut faire les chassis un peu plus longs que ne donne le calcul ; & pour être assuré que chaque talon porte exactement sur le bout des verges de cuivre, il faut les rendre mobiles, plaçant pour cet effet en *q* une cheville pour assembler le talon à la verge qui porte la lentille ; les talons du second chassis d'acier devront être limés exactement, pour porter sur les bouts du chassis de cuivre.

Dimensions qu'il est à propos de donner au Pendule composé à chassis.

1767. LA longueur intérieure du chassis de 37 pouces = 444 lig. qui jointes à 30 lig. distance au point de suspension, donnent 474 lig. pour la longueur totale du chassis d'acier. Le second chassis d'acier 427 lignes ; la verge qui porte la lentille, 396 lignes, de sorte que le talon sera distant de six pouces du haut du chassis : j'ai donné cette dimension, afin qu'en faisant monter d'abord les verges de cuivre tout au haut, si le pendule se raccourcit par la chaleur, je puisse l'amener au point de rester immobile en raccourcissant les deux verges de cuivre du milieu. Le chassis de cuivre a 438 lig. les verges de cuivre du milieu ont 355 ; ainsi la longueur totale des verges de cuivre sera de 793. La longueur totale des verges d'acier est de 1297 ; la longueur des verges d'acier est donc à celle de cuivre, à peu-près comme la dilatation 121 du cuivre est à la dilatation 74 de l'acier, ce qui fera la compensation ; mais, ainsi que je l'ai dit ci-dessus, je me réserve de corriger ce pendule par l'expérience ; pour cet effet, lorsqu'il sera exécuté, je l'appliquerai sur le pyrometre, après l'avoir mis à la glace : je donnerai toute la longueur possible aux verges intérieures de cuivre, c'est-à-dire, 6 pouces de plus que le calcul ne l'exige, ensorte que la chaleur fera nécessairement accourcir le pendule ; & je baisserai insensiblement ces verges, jusqu'à ce que le pendule ne s'alonge ni ne

ſe raccourciſſe par le chaud ou par le froid. Nous rapporterons dans la ſuite les expériences que j'ai faites ſur ce pendule, & comment je ſuis parvenu à le rendre propre à compenſer le mieux poſſible les effets de la dilatation & contraction des verges.

CHAPITRE XXIV.

Deſcription de l'Horloge que j'ai compoſée pour les Obſervations aſtronomiques.

1768. CETTE horloge eſt à ſecondes, elle a la propriété de ſonner les ſecondes quand on le juge à propos, ce qui eſt produit par un méchaniſme indépendant du mouvement dont il ne peut troubler la juſteſſe. Le pendule eſt compoſé pour remédier aux dilatations des métaux ; je me ſuis propoſé, en conſtruiſant cette horloge, de réduire, autant qu'il m'a été poſſible, toutes les cauſes qui s'oppoſent à ſa juſteſſe : cette horloge va un an ſans remonter, en employant le même nombre de dents de rouage, & même hauteur de poids que ſi elle n'alloit que ſix mois.

PLANCHE XXV.

1769. Les figures 1 & 2 repréſentent la ſuſpenſion, le pendule & toutes les pieces qui ſupportent toute la machine ; *ABCDF* (*fig.* 1) eſt une piece de fer qui s'attache contre le mur, au moyen de grands clous à crochet, qui entrent dans les ouvertures faites en *A*, *B*.

1770. *GHHKL* eſt une forte piece de cuivre attachée ſur la croix *ACFD*, au moyen de la vis conique *G*, ſur laquelle & autour de laquelle cette piece eſt mobile ; *K*, *L* ſont deux ouvertures faites à cette piece *GHI*, pour permettre ſon mouvement ſur le centre *G* : les vis *K*, *L* ſervent à fixer & rendre immobile cette piece avec la croix de fer.

1771. La piece *IM*, eſt fixée après celle *GHI*; elle eſt prolongée juſqu'au bas de la lentille, & là, elle eſt coudée en *N*, pour porter le limbe *O* qui répond directement au bas de l'index *P* porté par la lentille : la piece *GHMH* mobile en *G*, peut ſe mouvoir, comme nous avons dit, ſeparément de la croix; l'effet de ce mouvement eſt de rendre verticale la ſituation de cette cage, ce qui ſe voit lorſque le point du limbe marqué par o, répond au-deſſous de l'index *P* porté par la lentille.

1772. La vis de rappel *Q* ſert à mouvoir inſenſiblement le limbe, & à l'amener ſous l'index *P*.

1773. Les vis *D*, *F* ſont faites pour mettre le pendule verticalement dans le ſens du mur, ce qui eſt indiqué par la ſituation de l'index *P* au-deſſus du limbe.

1774. Les côtés *HH* de la piece *GI*, ſervent à porter le pendule & le mouvement; les parties *a*, *b* ſont encore recoudées, & redeviennent paralleles à la baſe *GI*; c'eſt à ces parties *a*, *b* que s'attache le mouvement de l'horloge.

1775. *RS* eſt une piece ou ſupport d'acier, dont les extrémités *RS* ſont percées pour recevoir les pivots portés par les vis *c*, *d*; ce ſupport a une ouverture ſelon ſon axe, propre à laiſſer paſſer librement la verge du pendule.

1776. Ce ſupport a une rainure tranſverſale, ſur laquelle poſe le couteau *T* du pendule; le couteau eſt ſurmonté par l'écrou *V*, lequel entre à vis ſur le bout de la verge du pendule, ce qui ſert à régler ſa marche; l'index *f* porté par le couteau, indique le nombre de diviſions de l'écrou que l'on fait paſſer en le tournant; pour mieux concevoir la diſpoſition de cette partie de la ſuſpenſion, il faut jetter les yeux ſur les figures 6, 7, 8, 9 de la XXVI[e] Planche; la figure 6 repréſente le ſupport avec la rainure tranſverſale dont nous avons parlé.

1777. La figure 7 repréſente le couteau, lequel porte une mortaiſe *ac*, dans laquelle entre fort juſte l'extrémité de la verge, afin que le plan de la lentille ſoit toujous perpendiculaire à la direction du couteau.

1778. La figure 8 repréſente le couteau vu en-deſſus; l'ouverture

l'ouverture ronde *g*, sert à y laisser descendre la partie *a b* de l'écrou (*fig.* 9).

1779. Pour empêcher le couteau de se mouvoir sur sa longueur, & par conséquent la verge du pendule de toucher aux côtés de l'ouverture du support (*fig.* 6), j'ai fixé aux côtés *A*, *B* du support, deux plaques au moyen de deux vis : *B* est une de ces plaques; l'autre est ôtée pour laisser voir la rainure.

1780. La fig. 2 (*Pl. XXV*) représente la verge du pendule; nous nous dispensons de la décrire ici, l'ayant déja fait en traitant des verges composées (1721 *& suiv.*) : la lentille est rendue fixe avec le pendule, au moyen de la broche coudée *X* (*fig.* 1).

1781. Les petites parties *g*, *h* portées par le limbe, sont faites pour empêcher, qu'en mettant le pendule en mouvement, on ne lui fasse décrire de trop grands arcs, effets dangereux pour la roue d'échappement, dont on pourroit casser les pivots.

Description du mouvement de l'Horloge.

PLANCHE XXVI.

1782. LA troisieme figure représente l'intérieur du mouvement. La premiere figure représente le devant de ce mouvement avec son cadran : *A*, *B* sont deux vis qui servent à attacher le mouvement avec la suspension; on voit que par cette disposition, on ôte le mouvement sans déranger le pendule qui en est indépendant.

1783. *C*, *D* sont les poids moteurs du mouvement, ils ont même pesanteur ; *b* est une poulie, dont la chappe est fixée à la platine du mouvement ; la corde qui s'enveloppe sur le cylindre ponctué *E* du mouvement, passe par la poulie *a* qui porte le poids *C*; elle passe ensuite sur la poulie fixe *b*, delà elle passe à la poulie *c*, le bout vient enfin s'attacher au crochet *F* qui tient à la cage du mouvement; de cette maniere on voit que la corde est deux fois plus longue que si le poids étoit immédiatement attaché par

une ſimple mouffle ordinaire, ce qui double la durée de la marche de l'horloge; car lorſque le poids *C* eſt deſcendu au point de poſer ſur le plancher, celui *D* eſt reſté en *D*; mais dès l'inſtant que le premier commence à poſer, celui-ci commence à deſcendre, & il employe néceſſairement autant de temps que le premier; cette diſpoſition des poids eſt la même dont je fis uſage dans la Pendule à équation, que je préſentai à l'Académie Royale des Sciences en 1754.

1784. La roue *A* (*fig.* 3), eſt portée par le cylindre ſur lequel s'enveloppe la corde qui porte le poids; elle a 100 dents; elle engrene dans le pignon *a* qui porte la roue *B*; ce pignon a 10 dents; la roue *B* a 72 dents; elle engrene dans le pignon *b* qui en a 8; ce pignon porte la roue *C* qui a 64 dents; elle engrene dans le pignon *C* qui en a 8; celui-ci porte la roue *D* qui a 64 dents; elle engrene dans le pignon *d* qui a 8 dents; il porte la roue *E* de 60 dents; celle-ci engrene dans le pignon *e* de 8 dents, lequel porte la roue *F* d'échappement; cette roue a 30 dents & 8 lignes de diametre; le pendule étant à ſecondes, cette roue fait un tour en une minute; on trouvera donc qu'elle fait 43200 révolutions pour une de la premiere roue (1450).

1785. *GH* eſt un pied de biche mobile en *L*, il ſert à entretenir le mouvement de l'horloge pendant qu'on la remonte: nous avons expliqué ſon effet Partie I. (71).

1786. Le pignon *d* que porte la roue *E*, paſſe à travers la platine des piliers, pour aller engrener dans la roue des minutes qui eſt concentrique à l'aiguille des ſecondes. Voyez ce méchaniſme, Partie I, Chap. III & Planche III.

1787. Pour réduire les frottements le plus qu'il a été poſſible, j'ai tenu ces roues petites & légeres; le cylindre même & la grande roue ſont croiſées; les pointes de tous les pivots portent ſur des plaques d'acier trempé, afin d'éviter par ces moyens les frottements des portées des pivots contre les platines.

1788. La figure 2 repréſente le dehors de la ſeconde platine; dans les pieces ordinaires, l'échappement ſe fait en

dedans de la cage ; ici, au contraire, il eſt fait ſur le dehors de la ſeconde platine ; ainſi le rochet d'échappement *F* eſt placé au-deſſus de la platine (*fig.* 2) ; le petit pivot de la roue d'échappement, c'eſt-à-dire, celui qui eſt placé du côté de la roue, roule dans le trou fait pour cela au coq *b* attaché à la ſeconde platine ; l'autre pivot, qui eſt celui qui porte l'aiguille des ſecondes, roule dans le trou fait à un bouchon qui eſt chaſſé à force ſur le bout du pont de la roue de minute ; par cette méthode j'ai pu réduire le pivot à un plus petit diametre, que s'il rouloit dans la platine des piliers, & par conſéquent le frottement eſt moindre, le pivot plus court & plus facile à exécuter.

1789. Lorſque le mouvement eſt attaché à la piece de ſuſpenſion, le centre du mouvement du pendule répond à la hauteur du rochet ; nous allons rendre raiſon de cette diſpoſition ; mon but, en compoſant cette piece, a été de faire décrire de très-petits arcs au pendule ; or pour cela, il n'auroit pas été facile de faire un échappement ſolide, en faiſant coïncider ſon centre de mouvement avec celui du pendule : j'ai donc placé le centre de mouvement de ma piece d'échappement *A c d* au bas de la cage ; enſorte qu'il arrive que ſi l'échappement parcourt un angle d'un degré, celui du pendule n'en parcourt que la moitié ; la fourchette *B* (*fig.* 5) ayant même longueur que l'ancre, elle agit à une diſtance du centre de ſuſpenſion du pendule qui eſt double de la longueur de l'ancre ; les arcs du pendule ſont donc moitié plus petits que les arcs parcourus par la partie *c d* de l'ancre.

1790. Les petites parties ſaillantes 9, 10 de l'ancre, ſervent à y retenir l'huile néceſſaire à l'échappement à repos.

1791. La figure 5 repréſente la piece d'échappement & la fourchette ; celle-ci eſt mobile en *B*, au moyen d'une vis de rappel, qui ſert à mettre l'horloge dans ſon échappement, ce qui ſe fait, lorſque le pendule eſt bien vertical ; le méchaniſme de cette fourchette a été expliqué (77 & 78) ; paſſons maintenant au méchaniſme que j'ai conſtruit pour ſonner les ſecondes.

1792. Les Aſtronomes exigent, que non-ſeulement leurs

horloges à secondes divisent le temps, & le marquent exactement au moyen des aiguilles, ils veulent encore que les secondes soient frappées, de maniere qu'ils puissent les compter sans regarder l'horloge; on est parvenu à remplir leurs objets de deux manieres différentes: la premiere, c'est en faisant des échappements qui fissent beaucoup de bruit, c'est-à-dire, dont la force motrice fût grande ainsi que la chûte de l'échappement; la seconde est, en plaçant sur la roue des secondes, 60 chevilles, qui à chaque battement du pendule élevent un marteau qui frappe sur un timbre, & indique par conséquent les secondes; mais il est aisé de voir que l'une & l'autre méthode doit nécessairement influer sur la justesse de l'horloge; car dans le premier cas la force motrice étant plus grande qu'il n'est besoin, change la nature des oscillations du pendule, & cause à l'échappement & aux rouages des frottements, qui venant à changer, dérangent l'isochronisme de la machine; & dans le second, on voit que pour faire frapper un marteau, il faut une très-grande force motrice, ce qui cause des frottements considérables; d'ailleurs ce marteau n'agissant pas continuellement sur le rouage, cela change encore cette force; ce moyen est donc encore très-défectueux: enfin les Astronomes se servent d'une machine, qu'ils appellent un *Valet*, c'est un pendule à secondes qu'ils reglent sur leurs horloges; ce pendule est entretenu en mouvement par une roue & un échappement; la roue fait frapper un marteau, ensorte que le valet sonne les secondes pendant tout le temps que ses battements sont d'accord avec ceux de l'horloge, ce qui ne doit pas durer longtemps. J'ai donc cru lever cet obstacle, en conservant cependant à l'horloge la propriété de frapper les secondes; pour cet effet, j'ai adapté (*fig.* 2) un rouage particulier entraîné par un poids qui éleve un petit marteau qui frappe les secondes.

1793. L'axe de la roue *L* (*fig.* 2) se meut sur des pivots qui roulent dans la cage formée par une platine du mouvement & par la plaque *HI*; cet axe porte un cylindre sur lequel s'enveloppe la corde qui porte le poids 2, qui est le moteur de

ce rouage; cet axe porte auſſi un rochet d'encliquetage, dont l'effet ſert à entraîner la roue *LL*; celle-ci porte 90 dents; elle engrene dans un pignon *a* qui en a 6; ce pignon porte une roue *h*, dont nous expliquons l'uſage dans le moment.

1794. La roue *LL* porte 60 chevilles, dont l'effet eſt de lever le petit marteau *tu*, mobile en *t* ſur des pivots qui ſe meuvent dans la cage.

1795. Le marteau porte la levée 4, qui eſt élevée par la cheville: un double effet de cette levée eſt d'empêcher que la roue ne rétrograde après la chûte du marteau, lorſqu'on remonte le poids; ainſi cette roue ne peut aller qu'en avant.

1796. Pour déterminer la vîteſſe des coups de marteau, & les régler parfaitement ſur les battements du pendule, j'ai adapté ſur la piece d'échappement *cd* le petit ancre *efg*, dont les parties *f*, *g* ſont des portions de cercle concentriques à *A* centre de mouvement de l'échappement.

1797. Le cercle ou roue *h*, porte deux chevilles qui forment une eſpece d'échappement avec l'ancre *ef*, enſorte qu'il arrive qu'à chaque battement du pendule, une de ces chevilles s'échappe, & pendant cela le petit marteau frappe un coup, & ainſi ſucceſſivement, pendant que le poids eſt monté, ou bien que l'on veut qu'elle ſonne.

1798. La poulie ou cylindre de la roue *LL* eſt diviſé en deux parties ſur ſa longueur; l'une eſt pour envelopper la corde qui porte le poids, & l'autre pour la corde *I* 6*y*, qui ſert à remonter la machine; le bout de cette corde eſt attaché à la branche *y* mobile en *x*; l'effet de cette branche eſt que lorſque l'on veut remonter le poids, on tire l'anneau *z*, porté par la corde; en tirant cet anneau, la corde attachée en *y*, oblige cette branche de deſcendre; celle-ci entraîne le bras *x* 7, dont l'extrémité 7 paſſe derriere la roue *h*, & va arrêter une cheville que porte cette roue; enſorte que pendant qu'on remonte le poids, cette roue reſte immobile, & que les chevilles d'échappement qu'elle porte, ne peuvent aller s'oppoſer au mouvement de la piece d'échappement; le rouage de la ſonnerie reſte donc arrêté pendant tout le temps

que l'on ne dégagera pas la cheville du bras 7.

1799. L'axe *x* du bras *y*, eſt prolongé dehors de la platine des piliers; il porte quarrément le bras ponctué *x* 3, auquel tient le cordon *R*; c'eſt en tirant celui-ci que l'on donne la liberté à la piece de ſonner, ce qu'elle fait jusqu'à ce que l'on touche à l'anneau, & qu'on faſſe redeſcendre le bras *y*, ou que laiſſant frapper le marteau, la palette *n* portée par l'axe de la roue *LL*, ait fait tourner la roue *m*, de maniere que l'intervalle de la dent 8, étant amené ſous le bras *r*, celui-ci en deſcendant faſſe préſenter la partie *s* d'un autre bras que ſon axe *q* porte; & ce bras *s* en deſcendant s'engagera, de ſorte qu'il arrêtera une des chevilies de la roue *h*, & par conſéquent la petite ſonnerie.

1800. La roue *m* ſert donc à limiter le temps de la marche de la ſonnerie, ſoit pour empêcher qu'on ne la remonte trop, ſoit pour l'arrêter en un point fixe.

1801. On peut auſſi arrêter la ſonnerie, ſans attendre que le poids ſoit deſcendu au bas; il ſuffit de deſcendre tant ſoit peu l'anneau *z*, & par conſéquent le bras 7.

1802. Tous les effets que nous venons de décrire, ont eu pour objet de rendre ce méchaniſme tellement indépendant du mouvement, qu'il ne puiſſe ni en déranger la juſteſſe, ni faire arrêter l'horloge. Pour faire uſage de la ſonnerie des ſecondes, on voit que cela ſe borne à remonter le poids au moyen de l'anneau *z*; & dans l'inſtant que l'on veut obſerver, on n'a qu'à tirer le cordon *R*, afin de donner la liberté au marteau de frapper.

1803. Il eſt aiſé de voir par la diſpoſition de cette machine, que la force que le petit poids communique aux chevilles d'échappement *h*, eſt infiniment petite; car ce poids n'a que la force requiſe pour élever le marteau, dont la levée eſt continuellement appuyée ſur les chevilles; enfin cette petite réſiſtance que font les chevilles ſur l'ancre, ne ſe fait que pendant l'inſtant de l'obſervation, & elles agiſſent d'ailleurs ſur des portions de cercle. La deſcription que nous donnerons d'une ſonnerie à ſeconde, ſuppléera à ce que l'on n'aura pas

compris à celle-ci : voyez Chapitre XXXIX ; on y trouvera de plus grand détails ſur toutes les parties d'une horloge aſtronomique.

1804. La quatrieme figure repréſente le profil du mouvement, lequel aidera à faire entendre la conſtruction de cette machine.

1805. La premiere roue du mouvement a une cage particuliere ; je l'ai ainſi conſtruite par la raiſon que la longueur du cylindre exige une cage haute, & que les roues du mouvement étant petites, les axes ou tiges des pignons auroient été trop longs, peſants & incommodes à travailler.

CHAPITRE XXV.

Du Régulateur des Montres.

1806. LES MONTRES étant expoſées à divers mouvements & poſitions, il faut que leur régulateur ne reçoive aucun dérangement ſenſible par les différentes poſitions & mouvements ; or le pendule ne peut faire ſes vibrations régulieres que dans le cas où il eſt toujours dans un plan parfaitement vertical, & qu'il ne reçoit aucun mouvement étranger ; le pendule ne peut donc pas ſervir de régulateur à une montre (55) ; il a donc fallu avoir recours au balancier, dont la propriété eſt de conſerver ſon mouvement dans toutes ſortes de poſitions, & malgré les ſecouſſes qu'il peut ſouffrir (124), pourvu qu'elles ne ſoient pas exceſſivement irrégulieres.

1807. *Le balancier ſimple, n'a par lui-même aucune tendance à ſe mouvoir d'un côté plutôt que de l'autre*, ainſi il ne tend pas à faire des vibrations comme le pendule, c'eſt-à-dire, à aller & à revenir alternativement ſur lui-même ; c'eſt par cette raiſon que les premiers Horlogers imaginerent l'échappement à roue de rencontre, dont l'effet eſt tel que la roue ra-

mene le balancier au moyen des palettes, & le fait ainſi aller & revenir (125); voilà la premiere origine de l'application des vibrations dans une machine pour en régler le mouvement. Quoique l'on eût tous les jours devant les yeux des corps ſuſpendus, qui alloient & revenoient ſur eux-mêmes, on n'avoit pas encore, au milieu du ſiecle paſſé, fait uſage du pendule, dont l'application aux horloges eſt dûe à Huyghens.

1808. Le balancier n'ayant, comme nous avons dit, aucune tendance à ſe mouvoir d'un côté plus que de l'autre, il arrive néceſſairement que la vîteſſe de ſon mouvement eſt variable ſelon l'inégalité de force qui lui eſt tranſmiſe par la roue de rencontre; ce ne fut que vers le milieu du ſiecle dernier (en 1675 *), que l'on adapta un reſſort ſpiral au balancier, pour lui faire produire des vibrations indépendantes de l'échappement; c'eſt encore à Huyghens que cette admirable découverte eſt dûe.

1809. Nous conſidérerons, dans le Chapitre ſuivant, les effets du reſſort ſpiral ſimple, & non appliqué au balancier; & enſuite nous verrons les effets qui doivent réſulter de leur jonction, & de quelle maniere les vibrations du balancier avec ſon reſſort ſpiral doivent ſe faire, lorſqu'il eſt indépendant du rouage. Nous appellerons le reſſort ſpiral *le ſpiral* ſimplément, conformément au langage des Artiſtes.

CHAPITRE XXVI.

Du Reſſort ſpiral; des Vibrations qu'il produit au Balancier.

1810. LA propriété d'un reſſort quelconque eſt, qu'ayant été écarté de ſon repos par l'effort d'une puiſſance, dès qu'on l'abandonne à lui-même, non-ſeulement il retourne

(*) Voyez Mémoires de l'Académie, tome X, page 549.

vers

vers le point d'où il étoit parti, mais encore il fait autant de chemin de l'autre côté qu'on lui en a fait faire en le tendant; le ressort ayant alors consumé toute sa force revient sur lui-même, & fait ainsi des vibrations, de même qu'un pendule que l'on écarte de son repos.

I. PRINCIPE.

1811. LA vîtesse des vibrations du ressort est d'autant plus grande que ce ressort est plus fort, & au contraire :

II. PRINCIPE.

1812. LE ressort fait un nombre de vibrations d'autant plus grand que les parties du ressort sont plus dures, & qu'elles éprouvent une moindre destruction par les vibrations ou mouvement du ressort. Ces deux propositions n'ont pas besoin de démonstration.

1813. On démontre par expérience que les vibrations grandes ou petites d'un même ressort sont isochrones, c'est-à-dire, de même durée. Voyez ces expériences dans les Eléments de Physique de s'Gravesande, tome premier, art. 784.

1814. Il résultera donc de ces propriétés du ressort, qu'étant adapté au balancier, on aura :

I. PROPOSITION.

1815. LA vîtesse des vibrations d'un balancier mû par un ressort spiral, dépend de la grandeur & du poids du balancier, c'est-à-dire, de son inertie & de la force du ressort spiral ; si donc le balancier est grand & pesant, le spiral foible, les vibrations seront lentes ; car plus le balancier a d'inertie, & plus sa résistance au mouvement augmente ; & d'ailleurs, plus le spiral est foible, & plus ses vibrations sont lentes.

II. PROPOSITION.

1816. Si un balancier grand & pesant, étant mu par un spiral qui soit foible, fait alternativement des grandes & des

petites vibrations, elles ne feront pas ifochrones ; car par la nature du balancier, de fon inertie, des frottements des pivots, &c, les efpaces qu'il parcourra le feront en des temps d'autant plus longs qu'ils feront plus grands ; ainfi malgré la tendance du fpiral à faire fes ofcillations d'égale durée, comme il ne détermine qu'en partie la vîteffe du mouvement du balancier, le balancier n'ira ni avec la vîteffe qu'il auroit, fi étant féparé du fpiral, on lui eût communiqué la même impulfion, ni avec la vîteffe du fpiral, mais avec une vîteffe déterminée par l'inertie du balancier & par la force du fpiral.

III. Proposition.

1817. Si on a un balancier qui foit très-léger, & mu par un reffort fpiral qui foit fort : 1°, Les vibrations feront très-promptes : 2°, Soit que le balancier décrive de grands ou de petits arcs, les ofcillations feront très-approchantes d'être ifochrones.

IV. Proposition.

1818. Plus le reffort fpiral fera compofé de parties dures, & plus auffi le balancier fera un grand nombre d'ofcillations, c'eft-à-dire, qu'un reffort fpiral qui eft de bon acier bien trempé, eft infiniment plus propre à conferver le mouvement du balancier, & à lui faire produire des ofcillations ifochrones.

V. Proposition.

1819. Un balancier fait en même temps un nombre de vibrations d'autant plus grand que les frottements des pivots feront moindres.



CHAPITRE XXVII.

Réflexion ſur la nature du meilleur Balancier de Montres.

PRINCIPE.

1820. NOUS avons vu, Chapitre X, art. 1533 & ſuivants, que ſans la réſiſtance de l'air & le frottement de la ſuſpenſion, un pendule une fois mis en mouvement le conſerveroit perpetuellement; & comme toutes ſes oſcillations ſeroient de même étendue, elles ſeroient iſochrones : ainſi un pendule eſt le régulateur le plus parfait que l'on puiſſe appliquer à une machine qui meſure le temps, puiſqu'il n'eſt beſoin que de placer auprès un compteur qui marque le nombre des oſcillations ; mais comme l'air réſiſte au mouvement, & que la ſuſpenſion du corps cauſe un frottement qui détruit une partie du mouvement, il arrive que les oſcillations d'un pendule ſimple diminuent inſenſiblement, enſorte qu'elles ne ſont plus iſochrones, & que le mouvement ceſſe enfin après un certain temps. Si ces obſtacles ne peuvent abſolument être vaincus, au moins eſt-il poſſible d'en détruire une partie; ainſi le pendule qui, ayant reçu un mouvement, le conſervera plus long-temps & le plus également, doit être cenſé le meilleur régulateur.

1821. Le même raiſonnement eſt applicable au balancier mu par un ſpiral : car de même que dans les horloges à pendule, on doit juger de la meilleure application du régulateur, lorſque le mouvement ſe conſerve plus long-temps & plus uniformément; de même ſi on fait un balancier auquel une impulſion donnée procure des oſcillations iſochrones, &

conserve son mouvement pendant un fort long-temps, on est censé avoir réduit les frottements & les résistances de l'air à la moindre quantité possible, de sorte que ce balancier sera le meilleur régulateur applicable à une montre : nous allons examiner comment on peut parvenir à cela.

CHAPITRE XXVIII.

Du Balancier régulateur des Montres, de la maniere de déterminer celui qui est le plus propre à mesurer le Temps.

PREMIER AXIOME ou PRINCIPE.

1822. *Les temps des oscillations d'un corps seront les mêmes, si la résistance au mouvement est toujours la même, & que la puissance motrice agisse avec une force constante* (a); ainsi les vibrations d'un balancier seroient isochrones, si les résistances de l'air & les frottements étoient constamment les mêmes, & si la force motrice ne changeoit pas.

II. PRINCIPE.

1823. *Pour juger de l'avantage d'un régulateur sur un autre, il faut comparer les forces* (b) *ou quantités de mouvement de l'un & de l'autre; comparer de même les frottements* (c) *ou résistances qui s'opposent au mouvement de l'un & de l'autre corps :* ainsi si la

(a) Je fais abstraction pour le moment des changements de la température.

(b) J'entends par *force*, cette propriété qu'a un corps en mouvement, de vaincre un nombre d'obstacles; alors la mesure de cette force est le produit de la masse du corps par le quarré de sa vîtesse.

(c) Sur les frottements, voyez le Chap. suivant.

force ou la quantité de mouvement d'un corps *A* eſt à la quantité de mouvement du corps *B* dans un plus grand rapport que n'eſt la réſiſtance qu'il éprouve à ſe mouvoir, comparée à celle qu'éprouve le corps *B*, le corps *A* ſera préférable, puiſqu'il a plus de force pour vaincre les frottements, que n'a le corps *B* pour vaincre les ſiens.

III. PRINCIPE.

1824. *Plus la réſiſtance ou frottement d'un corps ſera grande, relativement à la force & au frottement d'un autre corps, & plus auſſi la force requiſe pour entretenir ſon mouvement devra être grande;* ainſi ſi les frottements du corps *A* ſont aux frottements d'un corps *B* dans un plus grand rapport que n'eſt la force de *A* à *B*; la force requiſe pour entretenir le mouvement du corps *A* ſera dans un plus grand rapport que n'eſt la quantité de force de *A* comparée à *B*; de ſorte qu'il arrivera, que quoique le corps *A* ait une plus grande quantité abſolue de mouvement, il perſiſtera cependant moins à le conſerver; car l'excédent de ſa force ſur la réſiſtance étant moindre que dans le corps *B*, il faudra une plus grande force motrice pour entretenir ſon mouvement : il ſuit delà, 1°, qu'un moindre changement dans les frottements ou dans les réſiſtances qu'éprouvent les corps, cauſera une différence dans la vîteſſe: 2°, Que la force motrice étant plus grande, relativement à la quantité de mouvement du corps, augmente les frottements, & par conſéquent les inégalités des forces tranſmiſes au régulateur.

Premiere Propoſition ſur les Balanciers.

1825. SI deux balanciers de même peſanteur, mais d'inégale grandeur, décrivent des arcs ſemblables, enſorte cependant qu'un point quelconque pris ſur la circonférence de chaque balancier, parcoure en même temps des eſpaces égaux (*), les frottements ſur les pivots ſuppoſés de même

(*) Dans ce cas les balanciers auront la même quantité de mouvement, puiſqu'ils ont la même maſſe & la même vîteſſe.

grosseur, seront en raison inverse des diametres des balanciers, c'est-à-dire, que les frottements des pivots du grand balancier seront à ceux du petit, comme le diametre du petit est à celui du grand, ce qui est évident; car si le diametre du grand balancier, que je nomme *A*, est au diametre du petit *B*, comme 2 est à 1, pour que le petit ait la même vîtesse à sa circonférence, il faut qu'il fasse deux fois plus d'oscillations que le grand (les circonférences étant entr'elles comme les diametres (1409)); or nous supposons qu'ils sont de même pesanteur; les pivots du balancier *B*, qui sont de même grosseur (*) que ceux de *A*, parcourront deux fois plus de chemin, le frottement sera donc double; les frottements du balancier *A* sont donc à ceux de *B*, comme 1 est à 2, c'est-à-dire, comme le diametre du petit balancier est à celui du grand.

1826. Cette proposition prouve l'avantage d'un grand balancier sur un petit, puisqu'en doublant le diametre on diminue les frottements de la moitié, sans changer la quantité de force ou de mouvement, & sans augmenter la résistance de l'air, puisque nous supposons ici les mêmes espaces parcourus.

II. PROPOSITION.

1827. SI on a deux balanciers d'égale grandeur qui se meuvent avec différentes vîtesses, & que la pesanteur des balanciers soit en raison inverse du quarré des vîtesses: 1°, Ils auront la même quantité de mouvement: 2°, Les frottements seront en raison inverse des vîtesses.

(*) Je dis qu'il faut supposer les pivots de même grosseur; voici sur quoi cela est fondé: on doit faire les pivots de balancier les plus petits qu'il est possible, & cela à une limite au-delà de laquelle la matiere ne permet pas de passer; ayant donc fait les pivots d'un grand balancier, les plus petits qu'il puisse avoir, il ne sera plus possible de diminuer ceux du petit balancier, proportionnellement à la différence des diametres des balanciers; car si on pouvoit faire des pivots plus petits encore, il n'y auroit aucune difficulté de les employer avec un grand balancier qui n'auroit pas plus de poids: de cette maniere, on réduit à la moindre expression le frottement des pivots; ainsi nous employons ici cette limite des grosseurs des pivots; les frottements du petit balancier sont donc effectivement dans le rapport; d'où l'on voit, qu'en faisant un balancier trop petit, les pivots ne pouvant être diminués, ils ne différeront que peu de la grandeur d'un balancier; ainsi la quantité de mouvement sera presque égale aux frottements des pivots.

DÉMONSTRATION.

1828. 1°, SI la vîtesse du balancier *A* est à celle de *B*, comme 1 est à 2, selon notre supposition, sa masse sera à celle de *B*, comme le quarré de la vîtesse du balancier *B*, qui est 4, est au quarré de la vîtesse du balancier *A*, qui est 1; or pour avoir la quantité de mouvement du balancier *A*, il faut multiplier la masse 4 par le quarré 1 de la vîtesse; ainsi 4 exprimera la force du balancier *A*. De même pour avoir la quantité de mouvement du balancier *B*, il faut multiplier la masse 1 par le quarré 4 de la vîtesse; 4 exprimera donc aussi la force du balancier *B*: donc deux balanciers de même grandeur qui se meuvent avec différentes vîtesses, ont la même quantité de mouvement, quand leurs poids sont en raison inverse du quarré des vîtesses.

1829. 2°, Nous supposons ici que les frottements sont proportionnels au produit du poids par l'espace parcouru; ainsi le frottement du balancier *A* sera égal au produit de la masse 4 par la vîtesse 1; & le frottement du balancier *B* sera le produit de la masse 1 par la vîtesse 2. Les frottements du balancier *A* sont donc à ceux du balancier *B*, comme 4 est à 2, ou comme 2 est à 1, c'est-à-dire, en raison inverse des vîtesses.

REMARQUE.

1830. NOUS avons supposé les frottements proportionnels aux produits de la masse par la vîtesse, quoique cela ne soit pas exactement vrai; mais l'erreur est peu considérable, & nous n'avons pas d'expériences assez précises pour établir des calculs plus exacts.

1831. Il est donc préférable de faire un grand balancier qui soit léger, mais dont la vîtesse soit double de celle d'un autre balancier de même force, puisque celui qui feroit pesant, quoiqu'en se mouvant plus lentement, auroit des frottements doubles de l'autre.

1832. Nous ne faisons pas entrer ici les résistances de l'air, dont la considération n'est pas fort essentielle pour mon objet : car quoique cette résistance augmente d'autant plus que la vîtesse du balancier est plus grande, & présente une plus grande surface ; comme cette résistance est toujours à peu-près la même, il arrive qu'elle détruit continuellement une même quantité de mouvement, ce qui n'arrive pas dans le cas des frottements des pivots, ces frottements allant en augmentant à mesure que les huiles se dessechent, que les pivots perdent de leur poli ; & ces changements sont d'autant plus considérables que le frottement est plus grand : il est donc bien essentiel de le réduire à la moindre quantité possible, afin de les rendre plus constamment les mêmes, ce qui dans ce cas seroit la même chose que si on les réduisoit à rien (1822): d'ailleurs il faut observer que la résistance que l'air oppose au mouvement des balanciers est peu considérable, puisque ce fluide n'est point déplacé ; ainsi ce frottement est beaucoup plus petit qu'il ne seroit, si le balancier étoit formé par des poids, comme, par exemple, des petites boules ou lentilles.

III. Proposition.

1833. Si on a un balancier grand & pesant, dont la vîtesse soit moins grande que celle d'un autre balancier petit & moins pesant, la force du grand sera moins grande relativement au frottement, c'est-à-dire, que le grand balancier aura une moindre puissance pour vaincre les obstacles qui s'opposent à son mouvement, que n'aura le petit. Soit *A* le grand balancier & *B* le petit, nous supposons que le diametre & la pesanteur de *A* est au diametre & à la pesanteur de *B* comme 2 est à 1 : nous supposons encore qu'ils décrivent des arcs semblables, mais que les oscillations de *A* sont au nombre des oscillations de *B* pendant le même temps, comme 1 est 5 : pour avoir la force de l'un & de l'autre balancier, il faut multiplier la masse par le quarré de la vîtesse; or pour avoir la vîtesse,

vîteſſe, il faut multiplier les diametres par les nombres de vibrations ; ainſi 2 diametre de *A*, multiplié par 1 oſcillation, donne 2 ; & 1 diametre de *B*, multiplié par 5 vibrations donne 5 : donc la vîteſſe de *A* eſt à celle de *B*, comme 2 eſt à 5, dont les quarrés ſont 4 & 25, leſquels étant multipliés par les maſſes 2 & 1, donnent 8 pour la force du balancier *A*, & 25 pour celle du balancier *B*. Tel eſt le rapport des forces ; examinons celui des frottements : les frottements étant, comme nous l'avons dit, le produit de la maſſe par l'eſpace parcouru, & ſuppoſant toujours les mêmes groſſeurs des pivots dans l'un & l'autre balancier, l'eſpace parcouru par les pivots de *A*, ſera à l'eſpace parcouru par ceux de *B*, comme 1 eſt à 5, c'eſt-à-dire, comme le nombre des vibrations de *A* à celui de *B* ; multipliant donc 1 par la maſſe 2 de *A*, on a 2 : multipliant de même 5 battements de *B* par la maſſe 1, on a 5 ; c'eſt-à-dire, que les frottements du balancier *A* ſont à ceux de *B*, comme 2 eſt à 5 ; or 2 eſt plus grand relativement à 5, que la force 8 du balancier *A* n'eſt à la force 25 du balancier *B* : le balancier *B* a donc plus de force pour vaincre les réſiſtances au mouvement, que n'a le balancier *A* pour vaincre les ſiennes.

1834. Lorſque nous traiterons des effets que produit la chaleur & le froid ſur l'huile des pivots des balanciers, nous ferons voir que les écarts de la montre ſeront d'autant plus grands que la force du balancier ſera plus petite & les pivots plus gros, &c ; d'où nous conclurons l'avantage d'employer des balanciers qui ayent une certaine force de mouvement que nous limiterons ; il ſeroit donc encore préférable d'employer un petit balancier léger qui feroit un plus grand nombre de vibrations, plutôt que d'employer un grand balancier peſant qui feroit des vibrations fort lentes ; ainſi un balancier grand & léger qui fait des vibrations promptes, eſt à plus forte raiſon préférable à un grand balancier peſant, qui fait des vibrations lentes.

1835. Nous avons vu l'avantage des grands balanciers

à vibrations promptes ; comparons maintenant l'étendue des vibrations d'un même balancier.

1836. Si la force d'un balancier est donnée, on peut la produire de deux manieres ; ou par des grands arcs décrits par un balancier léger, ou par des petits arcs décrits par un balancier pesant : voyons quelle est la maniere la plus avantageuse, en supposant le même diametre de balancier, & le même nombre de vibrations.

1837. Pour que la force du balancier soit égale dans l'un & l'autre cas, il faut que les masses soient en raison inverse du quarré des vîtesses, c'est-à-dire, des arcs parcourus : j'appelle *A* le balancier léger qui parcourt, je suppose, des arcs doubles du balancier pesant, que j'appelle *B* ; pour que les forces des balanciers *A* & *B* soient égales, il faut, selon le principe, que la masse du balancier *A* soit à celle de *B*, comme le quarré de la vîtesse de *B* est à celle de *A* ; or, selon notre supposition, la vîtesse de *A* est à celle de *B*, comme 2 est à 1 ; la masse de *A* doit donc être à celle de *B*, comme le quarré de 1 est au quarré de 2, c'est-à-dire, comme 1 est à 4 ; la masse du balancier *B* doit donc être quatre fois plus grande que celle de *A* ; or le frottement étant le produit de la masse par l'espace parcouru, le frottement de *A* sera la masse de 1 par la vîtesse 2, qui donne 2 ; & le frottement du balancier *B* sera le produit de la masse 4, par la vîtesse 1 qui donne 4 ; le frottement de *B* sera donc double de celui de *A* ; d'où l'on voit qu'ayant un balancier dont le diametre & le nombre des vibrations est donné ainsi que la quantité de la force motrice, il est préférable de faire parcourir de grands arcs, en employant un balancier moins pesant, plutôt que de faire parcourir des petits arcs avec un balancier pesant.



CHAPITRE XXIX.

Des Frottements ; pour ſervir à la théorie des Montres : des effets du chaud & du froid ſur l'huile que l'on met aux Machines qui meſurent le temps, afin d'en diminuer les frottements.

1838. DEUX corps qui ſe meuvent, gliſſent ou roulent l'un ſur l'autre ; ils éprouvent une réſiſtance qui détruit une partie du mouvement du corps qui ſe meut : on appelle *frottement* cette réſiſtance.

1839. Pour bien entendre ce que c'eſt que le *frottement*, il faut ſavoir que tous les corps ſont formés par des parties de matiere qui ne ſont pas intimement liées les unes aux autres, mais qui ſont ſéparées par des cavités ou *pores*, enſorte que la ſurface de ces corps ne peut jamais être parfaitement unie : il reſte donc des éminences & des creux qui quoiqu'imperceptibles à notre vue, diminuent ſenſiblement la force du corps qui ſe meut ; car lorſque ce corps tourne ou ſe meut ſur un autre, les éminences dont ſa ſurface eſt formée, entrent dans les cavités de celui qui eſt en repos ; & il arrive, que pour en ſortir & pour continuer le mouvement, il faut, ou que les parties des matieres ſe déchirent, ou que le corps qui ſe meut s'éleve au-deſſus d'un certain niveau, puis retombe au-deſſous, puiſque les éminences entrent & ſortent alternativement dans les cavités ; or l'un ou l'autre de ces effets ne peut être produit ſans que le corps perde de ſa force.

1840. Tous les corps qui ſe meuvent ont donc du frottement ; ainſi les roulements des pivots des roues & balanciers

des montres ou pendules, causent nécessairement du frottement, ensorte que la force que nous avons calculée, & qui est transmise par la force motrice à la circonférence d'une roue quelconque, est diminuée par les frottements des pivots des roues; ainsi pour que cette force à la circonférence soit telle qu'on l'a calculée, il faut augmenter la force motrice.

De la maniere de réduire le frottement.

1841. 1°, On diminue le frottement, en rendant les pivots des roues qui se meuvent avec vîtesse, les plus petits qu'il se peut.

1842. 2°, En ne donnant à ces roues que la pesanteur la plus petite possible, & telle que ces roues soient d'une solidité relative à l'effort qu'elles ont à vaincre.

1843. 3°. En faisant les pivots durs & leurs surfaces très-unies.

1844. 4°, En faisant ensorte que les parties du corps sur lequel roulent les pivots, soient les plus serrées qu'il est possible.

1845. 5°, Lorsque les pivots étant d'acier le plus fin, roulent sur une matiere dont les pores soient d'un tissu différent de ceux de l'acier, comme sur le cuivre, par exemple, ou bien sur un mélange d'étain & de zinck, en faisant une matiere semblable à celle des timbres; il feroit encore mieux de faire rouler les pivots dans le diamant, s'il étoit possible d'y faire parfaitement un trou fin.

1846. Enfin on diminue le frottement en mettant des matieres grasses & fluides, comme de l'huile aux trous des pivots des roues, ou dans toute partie frottante; parce que cette matiere bouche l'ouverture des pores, comble les cavités, & unit les éminences des surfaces.

1847. La considération des frottements est fort essentielle dans les montres, sur-tout pour les pivots d'un balancier, à cause de la grande vîtesse du mouvement qu'exige ce régulateur. La roue d'échappement d'une montre ou d'une horloge, exige

auſſi que l'on ait égard à ces frottements, & qu'on les réduiſe à la plus petite quantité : on verra, à chaque partie que nous traiterons de l'Horlogerie, les effets des frottements, & la maniere de les diminuer; ainſi nous ne ferons point d'article particulier ſur cette matiere; je me contenterai de rapporter le précis des expériences qui ont relation à l'Horlogerie, leſquelles ont été faites par Muſſchembroek, remettant à un autre temps à conſtruire des machines, pour faire ou pour répéter ces expériences: voici donc ce que ce Phyſicien a conclu.

1848. La force requiſe pour faire tourner un cylindre ou aiſſieu d'acier bien rond & bien poli ſur des couſſinets ou trous de cuivre rouge eſt la $\frac{1}{6}$ partie du poids du cylindre appliqué à la circonférence de la partie frottante : il faut pour cela que la vîteſſe ſoit preſque égale à zéro ou très-petite.

1849. Ce cylindre exige ainſi la $\frac{1}{6}$ partie de ſon poids, lorſqu'il roule à ſec ſur les couſſinets; mais lorſqu'on y met de l'huile, il n'exige plus que la $\frac{1}{8}$ partie de ſon poids; ces quantités expriment donc la quantité de force qu'il faut appliquer pour vaincre les frottements; on trouve à peu-près la même choſe, lorſque l'axe tourne dans les couſſinets de cuivre jaune, à cela près cependant que ſi l'on charge l'aiſſieu de différents poids, le frottement n'augmente pas autant qu'avec les couſſinets de cuivre rouge.

1850. Lorſque l'aiſſieu roule ſur des couſſinets de plomb, il éprouve les mêmes frottements que dans le cuivre jaune.

1851. Si on fait rouler l'aiſſieu ſur des couſſinets qui ſoient auſſi d'acier, alors il faudra appliquer à la circonférence de l'aiſſieu le quart de ſon poids lorſqu'il tourne à ſec; mais ſi l'on y met de l'huile, il ne faudra que la ſixieme partie de ſon poids.

1852. Selon la table de Muſſchembroek, lorſqu'on fait tourner l'aiſſieu ou cylindre ſur des couſſinets d'étain, le frottement eſt pareil au précédent, lorſqu'il tourne à ſec, c'eſt-à-dire, le quart du poids du cylindre.

1853. Le frottement devient plus grand lorſque le poids

augmente ſur l'aiſſieu, quoique l'aiſſieu reſte le même; cela arrive, parce qu'en chargeant l'aiſſieu, les éminences de la ſurface ſont pouſſées plus profondément dans les cavités des couſſinets; c'eſt pourquoi, avant que l'aiſſieu puiſſe tourner, les parties doivent être courbées davantage, ou ſe rompre plus près de leur origine: dans ces deux cas, la réſiſtance contre le mouvement, c'eſt-à-dire le frottement, doit devenir plus grand; il paroît encore que le frottement augmente dans un plus grand rapport que le poids ſur l'aiſſieu.

1854. Lorſque les corps ne ſe meuvent pas avec beaucoup de rapidité les uns ſur les autres, le frottement eſt d'ordinaire en raiſon de la vîteſſe. Ce rapport n'eſt pas toujours exact; car lorſque ce mouvement des corps eſt fort rapide, le frottement augmente conſidérablement. Nous devons obſerver ici qu'il ne paroît pas que les expériences de Muſſchembroek prouvent rien de certain ſur les frottements qui réſultent de l'augmentation de ſurface, le poids reſtant le même: Amontons a prétendu le premier que l'augmentation de ſurface n'augmente pas le frottement (*), ce qui me paroît très-vraiſemblable, quoique ce principe ſoit contredit par d'autres Phyſiciens; le Docteur Deſaguliers, appuie par des expériences le ſentiment d'Amontons; voyez tome I, page 270 de ſa Phyſique expérimentale: on doit entendre ici par cette augmentation de ſurface la poſition d'un même corps de métal que l'on feroit mouvoir ſur un plan horizontal, tantôt à plat & tantôt ſur le côté.

1855. Cela doit auſſi s'entendre d'un cylindre que l'on feroit rouler ſur des couſſinets plus minces ou plus épais; le frottement ſeroit alors égal ou à très-peu de choſe près. Mais quand même il arriveroit que le frottement par la moindre ſurface fût moindre pour le moment actuel, il ne s'enſuit pas delà que cette maniere ſoit préférable; car lorſqu'un corps peſant qui roule ſur un autre, ne poſe que ſur une petite ſurface, alors les parties de matiere ſe pénetrent plus avant

(*) Voyez Mémoires de l'Académie 1699, page 211.

& se déchirent par la suite du mouvement ; ainsi le frottement augmente & varie.

1856. Si on fait alternativement tourner le même corps sur des pivots qui soient de différents diametres, alors les frottements augmenteront comme les diametres.

1857. Nous ne nous arrêterons pas davantage à cet objet, réservant à le traiter plus au long par la suite : on peut au reste consulter les Auteurs que nous venons de citer.

1858. On trouvera dans Desaguliers la maniere de calculer l'effet des frottements dans une machine, & trouver exactement la force qui est transmise à la derniere roue d'une machine quelconque : voyez Physique de Desaguliers, tome premier, page 198.

De l'effet des Huiles pour diminuer le frottement.

1859. L'HUILE étant une liqueur grasse, dont les parties s'introduisent dans les cavités de la matiere, soit du cuivre sur lesquels les pivots roulent, ou sur l'acier dont ces pivots sont formés, il arrive que les éminences des pivots n'entrent que foiblement dans les cavités du corps sur lequel ils roulent ; mais au contraire qu'ils glissent sur les parties très-déliées de l'huile, comme sur des petits rouleaux, ensorte que par ce moyen le frottement est considérablement diminué.

1860. Le frottement reste assez constamment le même, toutes les fois que l'huile est également fluide ou mobile ; mais si l'huile s'épaissit, les pivots éprouvent une plus grande résistance, ce qui diminue la force que la roue ou le balancier a pour se mouvoir : examinons ces effets de l'huile.

1861. 1°, L'huile s'épaissit à la longue par la raison qu'il s'en évapore les parties les plus fluides.

1862. 2°, L'huile s'épaissit ou devient moins fluide, parce qu'il se détache quelques particules des parties frottantes des pivots & des trous, & qu'il s'introduit des atômes avec l'huile ; tout cela s'amalgame ensemble, & forme une matiere pâteuse & gluante, qui non seulement diminue la

force de mouvement de la roue ou du balancier, mais encore cette matiere ronge & détruit les pivots & les trous : il eſt donc très-eſſentiel de diſpoſer les trous des pivots, de maniere que l'huile s'y conſerve long-temps en certaine quantité, & que les pivots par leurs roulements ne s'uſent pas ; il eſt eſſentiel auſſi de faire choix de bonne huile, & de la changer de temps à autre.

1863. Pour empêcher la deſtruction des parties des pivots & des trous, il faut appliquer ici le même raiſonnement dont nous nous ſommes ſervis, Chapitre XI, (1553) pour les ſuſpenſions à couteau ; c'eſt-à-dire, que ſi le balancier ou une roue eſt plus peſante, pour que le frottement des pivots n'augmente pas en raiſon du poids, il faut que les pivots portent ſur un plus grand nombre de parties, c'eſt-à-dire, qu'ils ſoient plus long ; de cette maniere chaque petite partie du pivot ne portera pas un plus grand poids qu'il n'auroit fait, ſi le pivot étoit plus court, & le balancier ou la roue plus légere.

1864. Enfin l'huile devient plus ou moins fluide & mobile, ſelon qu'il fait chaud ou froid : lorſqu'il fait froid, l'huile devient épaiſſe & immobile, & il arrive, que non-ſeulement les pivots ne gliſſent plus ſur les petits globules ou rouleaux que forme l'huile lorſqu'elle eſt fluide, mais qu'au contraire, elle forme une matiere pâteuſe qui entoure les pivots, & diminue conſidérablement la tendance qu'ils ont à ſe mouvoir (c'eſt-à-dire, la force de la roue ou du balancier).

1865. La force perdue par la roue ou par le balancier, lorſque l'huile eſt épaiſſie par le froid, ſera d'autant plus grande que la quantité de mouvement du balancier ou de la roue ſera petite : ſi donc l'on a une roue d'échappement de montre ou de Pendule, ou bien un balancier, qui ſe meuve avec une force infiniment petite, & que l'on ſuppoſe que l'huile miſe aux pivots étant fluide, eſt enſuite expoſée au grand froid ; il arrivera de deux choſes l'une, ou que la réſiſtance que l'huile épaiſſie cauſera, détruira toute la force de mouvement de la roue ou du balancier, & arrêtera

ſon

ſon mouvement, ou que cette réſiſtance détruira une très-grande partie de la force de la roue : or la réſiſtance de l'huile étant ſenſiblement la même, quelle que ſoit la force de mouvement de la roue ou du balancier, il ſuit delà, que plus la roue ou le balancier aura de force pour ſe mouvoir, & moins l'épaiſſiſſement de l'huile par le froid diminuera ſon mouvement; enſorte que ſi la force d'un balancier *A* eſt 12 fois plus grande que celle d'un balancier *B*, & que l'on ſuppoſe que l'huile épaiſſie par le froid, retranche la moitié de la force de *B*, le même froid ne retranchera que la 24ᵉ partie de la force du balancier *A*: donc pour vaincre la réſiſtance de l'huile, il faudra que la force qui fait mouvoir *A*, ſoit augmentée de la 24e partie, pendant que pour vaincre les réſiſtances de l'huile en *B*, la force qui en entretient le mouvement devra être double; d'où l'on voit que les dérangements cauſés par l'épaiſſiſſement de l'huile, ſont d'autant plus grands que la force des mouvements de la roue ou du balancier eſt petite; par conſequent, le balancier *A* n'aura en été, lorſque les huiles ſont fluides que $\frac{1}{24}$ de force de plus qu'en hiver; tandis que celle de *B* ſera double : or cette inégalité de force de *B* produira des effets ſemblables à ceux que donneroit une force motrice double; ce qui ne peut manquer de troubler l'iſochroniſme des vibrations, comme nous le verrons ci-après.

1866. Il faut donc, pour éviter cet effet des huiles, que le balancier ait une grande quantité de mouvement, & d'autant plus grande que ſes pivots ſeront plus gros, & le balancier plus petit, &c.

REMARQUE.

1867. LES montres qui vont un mois ou un an, ont néceſſairement des balanciers qui ont peu de force de mouvement; ainſi les changements cauſés par le froid, doivent y produire des plus grands écarts que dans les montres de 30 heures; à moins que l'on ne pût augmenter la force en raiſon du temps qu'elles marchent de plus, ou bien diminuer les frottements des pivots dans la même raiſon.

1868. Nous n'examinerons point ici la quantité réelle des frottements : ce calcul dépend d'un grand nombre d'expériences particulieres qu'il faudroit faire ſur chaque cas du mouvement ; & pour le moment préſent, ces expériences nous manquent, & deviennent aſſez inutiles pour l'Horlogerie; car ſi l'on a une machine quelconque à conſtruire, on parviendra à réduire les frottements à la moindre quantité par les moyens ſuivants :

1869. 1°, Si on ne donne pour grandeur & peſanteur aux roues & autres parties de cette machine, que les quantités requiſes pour les efforts qu'elles ont à vaincre.

1870. 2°, Si l'on a ſoin de proportionner la groſſeur & la longueur des pivots au poids des roues ou balanciers, à la preſſion du moteur, & relativement à leur vîteſſe.

1871. 3°, Que les corps que l'on emploiera seront les plus durs qu'il ſe pourra, en obſervant de ne pas faire agir l'un ſur l'autre deux corps de même eſpece, c'eſt-à-dire, acier contre acier, & cuivre contre cuivre ; mais au contraire que l'acier agiſſe ſur le cuivre, &c.

1872. 4°, En appliquant pour moteur à cette machine la quantité abſolument requiſe pour en entretenir le mouvement.

1873. Ayant ainſi conſtruit une machine, il eſt évident que l'on en réduit les frottements à la plus petite quantité, & que toutes les données que l'on auroit déterminées difficilement par le calcul, y ſont cependant entrées.

1874. Si l'on a un corps, balancier ou régulateur quelconque à mettre ou à entretenir le mouvement qui ſoit donné, & que la force motrice ſoit limitée, ainſi que la durée de la marche de la machine ; dans ce cas il faudroit déterminer par le calcul les frottements d'une telle machine, afin de connoître ſi la force requiſe, pour mettre le corps en mouvement, jointe à la réſiſtance des frottements, n'eſt pas plus grande ou plus petite que la force motrice donnée; mais ce cas particulier n'a j'amais lieu dans les machines qui ſervent à la meſure du temps; car il eſt toujours poſſible d'augmenter

ou de diminuer la force motrice ſelon qu'il eſt beſoin, ſoit pour le régulateur, ou pour vaincre les frottements des roues, &c.

1875. Il eſt très-eſſentiel d'obſerver, par rapport aux frottements d'une montre ou d'une horloge à pendule, & même d'une machine quelconque, que ce n'eſt pas tant la quantité abſolue du frottement, à laquelle il faut avoir égard, qu'à ſa conſtante uniformité ; car quoiqu'une machine ait moins de frottements qu'une autre, on n'en doit pas conclure qu'elle eſt meilleure, à moins que ces frottements ne ſoient de nature à ne pas changer par le mouvement de la machine ; car ſans cela, il ſeroit préférable que la quantité abſolue des frottements fût plus grande, mais en même temps, que le mouvement ne les altérât pas : c'eſt ainſi que ſi on fait rouler un balancier peſant ſur des pivots qui ne portent que ſur des trous minces, les frottements pourroient bien être moindres dans l'inſtant actuel ; mais la preſſion du balancier fera entrer les éminences qui ſont à la ſurface des pivots, dans les cavités de la ſuperficie des trous, ce qui déchirera inſenſiblement & la ſurface du pivot & celle du trou ; enſorte que le trou s'agrandira & que les frottements augmenteront ſenſiblement.

1876. Il faut auſſi obſerver que la matiere ne peut porter qu'un certain poids, ſans que les parties de celui qui preſſe entrent dans les cavités de celui qui porte, & que le mouvement n'en déchire les petites particules de matiere ; cette quantité eſt relative à la dureté des corps : c'eſt ainſi qu'il faudra un poids très-conſidérable pour que le diamant ſe pénetre par la preſſion & le mouvement. Il faudra un moindre poids à meſure que la preſſion ſe fera ſur des corps moins durs ; à moins que l'on n'augmente la ſurface à proportion du poids, & à meſure que les corps ſont moins durs ; or, par rapport aux pivots, il faut augmenter la longueur de l'appui autant que cela ſe peut, & préférablement à la groſſeur du pivot ; car l'un n'augmente pas la réſiſtance au mouvement, au lieu que la réſiſtance par la groſſeur augmente comme les diametres des pivots.

1877. Dans les premiers mobiles, il faut tenir les pivots

plus gros & plus longs, par la raiſon que la preſſion étant plus forte, il faut proportionner la ſurface pour que les pivots & les trous ne ſe déchirent pas; & à meſure que les mobiles ſont plus éloignés de la premiere roue, c'eſt-à-dire, que la force eſt moins grande, il faut diminuer la groſſeur des pivots, leur longueur, & la peſanteur des roues.

1878. Outre l'eſpece de frottement dont nous avons parlé, il y en a une autre, que tout corps qui ſe meut éprouve: c'eſt celui de l'air.

1879. Le frottement de l'air doit être conſidéré dans les pendules par le déplacement que la lentille occaſionne par ſon mouvement: voyez Chapitre XII, (art. 1560). Par rapport aux balanciers des montres & aux roues, ſoit des montres, ſoit des pendules; le frottement de l'air eſt ſi foible, qu'on peut très-bien en négliger la conſidération; car les roues déplacent peu d'air, & la réſiſtance que ce fluide oppoſe à leurs mouvements, étant à peu de choſe près conſtamment la même, cela ne produit qu'une variation infiniment petite dans le mouvement des balanciers ou des roues. Pour mieux juger de l'effet de la réſiſtance de l'air, nous rapporterons ce que dit à ce ſujet M. Daniel Bernoulli, Mémoires de l'Académie, année 1747, page 32; piece qui a remporté le prix: « Une » autre ſource de variation des arcs décrits par le pendule, eſt » la différente denſité de l'air; &, tout le reſte étant égal, » les arcs ſont réciproquement proportionnels aux racines » cubiques des denſités de l'air: or la plus grande denſité de » l'air eſt à la plus petite dans nos climats, environ comme » 6 eſt à 5; donc le plus grand arc ſera au plus petit » à cet égard, comme $\sqrt[3]{6}$ à $\sqrt[3]{5}$, ou comme 1062 à » 1000: le plus grand arc étant donc de 4 deg. 20 ſecondes, » le plus petit ſera à cet égard de 4 deg. 5 ſecondes; & cette » différence vaut environ trois quarts de ſeconde dans la » marche de l'horloge ». Si donc le changement dans la peſanteur de l'air cauſe une ſi petite variation au pendule qui déplace beaucoup d'air, il ne doit pas en cauſer de fort grande au balancier. Il eſt vrai que le balancier a une plus grande ſur-

face, relativement à sa force de mouvement, que n'a le pendule; mais il déplace aussi moins d'air : au reste, nous pourrons examiner cette matiere dans la suite.

CHAPITRE XXX.

Des effets du Chaud & du Froid sur les Montres. Comment il arrive que la chaleur retarde, ou accélére la vîtesse des vibrations du Balancier, selon la nature des Frottements, la disposition du Balancier, &c, & produit ainsi des effets contraires.

I. PROPOSITION.

1880. LA vîtesse des vibrations du balancier étant déterminée, article (1815), par la force du spiral, il arrive que le froid augmentant la tension du spiral, les vibrations du balancier se font plus vîte; & au contraire, la chaleur en dilatant le spiral diminue sa force, ensorte que les vibrations du balancier sont plus lentes.

II. PROPOSITION.

1881. La vîtesse des vibrations d'un balancier ne dépend pas uniquement de la force du spiral; car si le balancier est plus pesant, le spiral restant le même, les vibrations seront non-seulement plus lentes par l'augmentation d'inertie, mais encore par la plus grande résistance des frottements : ainsi, en ne considérant ici que les frottements des pivots, on voit que la vîtesse des vibrations est ralentie par ce frottement, & que, selon que les frottements d'un balancier sont plus ou moins

grands, les vibrations ſont plus promptes ou plus lentes: or le froid rend les huiles des pivots plus épaiſſes, ce qui rend les frottements plus grands, & par conſequent cela tend à faire retarder la vîteſſe du balancier.

1882. Voilà donc deux effets contraires produits par la même cauſe (le froid): par la premiere propoſition, le froid rendant la tenſion du ſpiral plus grande, augmente la vîteſſe du balancier; & par la ſeconde propoſition, le même froid tend à retarder la vîteſſe du balancier, en rendant les huiles plus épaiſſes. Le contraire arrive par la chaleur.

1883. Or cet effet du froid ſur l'huile des pivots de balancier devient d'autant plus ſenſible que les frottements ſont grands; c'eſt-à-dire, que, 1°, les pivots ſont plus gros; 2°, le balancier plus petit; 3°, que l'eſpace parcouru par les pivots eſt plus grand: ainſi une montre qui a un petit balancier qui parcourt de grands arcs, & qui a de gros pivots, doit avancer par la chaleur & retarder par le froid; car, dans ce cas, l'augmentation du frottement ralentira plus le mouvement du balancier, que l'augmentation de force du ſpiral ne tend à l'accélérer.

1884. Le contraire arrivera ſi le balancier eſt fort grand, les pivots très-petits, & qu'il décrive de petits arcs; car dans ce cas les frottements ſeront les plus petits poſſibles; enſorte que leur augmentation par le froid ne ralentira pas autant le mouvement du balancier, que l'augmentation de force du ſpiral par le même froid ne l'accélérera.

1885. Si on ſuppoſe maintenant que le même balancier a de forts gros pivots, cela occaſionnera un frottement qui changera la vîteſſe du balancier, ſelon que l'huile ſera plus ou moins fluide; c'eſt-à-dire, que lorſqu'il ſera froid, l'huile étant moins fluide, cela retardera la vîteſſe du balancier: ainſi cette vîteſſe du balancier ſera déterminée par deux cauſes oppoſées, l'une par laquelle le balancier tendra à aller plus vîte, c'eſt la tenſion du ſpiral par le froid; l'autre par laquelle le mouvement du balancier ſera ralenti par le froid, c'eſt la réſiſtance des huiles. Il y a donc une certaine groſſeur de

pivots qui produira un tel effet, que le froid fera retarder la montre, malgré la tendance du ſpiral à l'augmenter par le froid : c'eſt lorſque les pivots étant trop gros, la réſiſtance des pivots ralentira plus le mouvement du balancier, que ce mouvement n'eſt accéléré par la tenſion du ſpiral par le même froid.

1886. Il y aura auſſi un point où le froid accélérera la vîteſſe du balancier ; c'eſt lorſque les pivots ſeront très-petits & auront peu de frottements : (article 1883).

1887. Enfin il y aura une telle groſſeur à donner aux pivots du balancier, pour que le froid n'accélere ni ne retarde ſon mouvement ; c'eſt celle où le froid ralentira autant le mouvement du balancier, par l'augmentation de frottement par le froid, que le même froid agiſſant ſur le ſpiral tendra à augmenter la vîteſſe du balancier ; enſorte que ces deux cauſes qui auroient dû être un obſtacle à la juſteſſe des montres, s'entre-détruiront, & cauſeront la plus grande juſteſſe poſſible.

1888. Maintenant, ſi au lieu de faire varier la groſſeur des pivots, à laquelle on ne doit pas toucher, étant une fois donnée, c'eſt-à-dire, lorſque les pivots ſont d'une groſſeur convenable & relative à la preſſion qu'ils éprouvent ; ſi, dis-je, on laiſſe les pivots en augmentant ou diminuant l'eſpace parcouru, on trouvera les mêmes choſes, c'eſt-à-dire, 1°, que ſi les pivots d'un balancier ſont auſſi petits qu'il eſt poſſible, & que l'on faſſe décrire des petits arcs au balancier, le froid agiſſant ſur les pivots, ne retardera pas autant le mouvement du balancier, que le même froid agiſſant ſur le ſpiral tend à l'accélérer, c'eſt-à-dire, qu'une telle montre avancera par le froid, & retardera par la chaleur.

1889. 2°, Qu'à meſure que l'on fera décrire de plus grands arcs, le même froid fera avancer la montre d'une moindre quantité ; & juſqus-là, que parvenu à une certaine étendue d'arcs, la réſiſtance qu'oppoſe le froid aux pivots pour ſe mouvoir, ralentira plus les vibrations que la tenſion du ſpiral par le même froid ne tend à les accélérer : il y a donc encore

une certaine limite où un balancier étant donné, ainsi que sa pesanteur & la grosseur des pivots, on parviendra à détruire les effets du chaud & du froid, en augmentant & diminuant l'étendue des arcs: c'est ce que l'on obtiendra par l'augmentation ou diminution de la force motrice, ainsi que je le ferai voir en rapportant les expériences très-délicates que j'ai faites pour confirmer ma théorie.

1890. Enfin, si au lieu de diminuer ou d'augmenter la force motrice, on augmente ou diminue le poids du balancier, on parviendra également à corriger les écarts du chaud & du froid; car si une montre avance par la chaleur (les pivots étant fins), on peut conclure que la force motrice est trop grande, puisque les arcs parcourus par le balancier sont trop grands: ainsi en faisant un balancier plus pesant, on diminue l'étendue des arcs; on diminuera par-là le retard de la montre par le froid, & au contraire, &c.

1891. Il suit de-là que les arcs de vibration doivent varier, selon que le balancier aura une plus ou moins grande quantité de mouvement; car si le balancier a une grande quantité de mouvement, c'est-à-dire, qu'il soit mû par une grande force motrice, alors la résistance des huiles aura un moindre rapport avec cette force (1865); ainsi, pour compenser l'effet du chaud & du froid sur le spiral, le balancier devra décrire de grands arcs de vibration; & au contraire, si la force motrice est foible, le balancier aura une moindre quantité de mouvement, & les résistances des huiles auront un plus grand rapport avec la force de mouvement; ainsi l'arc de vibration devra être moins grand: c'est pour cette raison que dans les montres à vibrations lentes, dont la quantité de mouvement est petite, il faut donner peu de levée à l'échappement, afin qu'en diminuant l'étendue des arcs de vibration, pour empêcher les variations du chaud & du froid, les arcs soient cependant plus grands que ceux de levée: c'est en faisant usage de cette remarque que l'on parviendra à compenser les effets du chaud & du froid dans les montres à un mois.

1892. Au reste, il est bon d'observer que cette matiere est

très-délicate, & que pour corriger ces écarts, il faut avoir saisi l'esprit de la théorie, sans quoi on pourroit fort bien toucher à une de ces choses à contre-sens, c'est-à-dire, diminuer la force motrice lorsqu'il faut augmenter le poids du balancier, ou diminuer les pivots & augmenter la masse. Je rapporterai ci-après la maniere dont j'ai procédé pour mes expériences, ce qui éclaircira encore cet objet.

1893. Enfin il suit de ces principes que les pesanteurs des balanciers, les arcs qu'ils parcourent sont variables d'une infinité de manieres, & que cela dépend des grosseurs des pivots, de la quantité de force motrice, du nombre des vibrations, de la grandeur des balanciers; & que les rapports changent, selon qu'une ou plusieurs de ces choses different: on ne peut donc pas assigner exactement la quantité absolue de ces choses, sans avoir auparavant établi de bonnes expériences faites sur des montres où l'on ait réduit les frottements à la quantité convenable, & construites d'après les principes établis; alors on en construira d'autres qui ayant des dimensions différentes, auront la plus grande justesse qu'il soit possible de leur donner: c'est ce que nous verrons dans les Chapitres suivants, après que nous aurons rapporté quelques expériences.

REMARQUE.

1894. SI on pouvoit détruire entiérement les frottements ou les effets de l'huile sur une montre, elle feroit alors des écarts considérables par les changements de température; car alors le froid ou le chaud agissant uniquement sur le spiral, & celui-ci étant susceptible de plus ou de moins d'élasticité par le chaud & le froid, la montre avanceroit ou retarderoit, selon qu'elle éprouveroit plus ou moins de chaleur, comme nous le ferons voir en traitant de l'Horloge marine, Chap. XLIII; d'où l'on voit que cet obstacle des huiles & des frottements qui semblent s'opposer à la justesse des montres, est au contraire une des principales causes de leur justesse; car si l'action du froid sur le spiral tend à accélérer les vibrations du balan-

cier, la même action ſur les huiles diminue la liberté du balancier & retarde les vibrations. C'eſt en combinant ces effets qu'on parvient à les détruire l'un par l'autre, & à compenſer l'action du chaud & du froid ſur la montre ; ce qui ſupplée au méchaniſme que j'ai imaginé pour mon Horloge marine ; voyez Chapitre XLI : & ſi juſqu'ici on a fait des montres qui vont bien, c'eſt que, ſans le vouloir, les frottements ont compenſé d'eux-mêmes l'action du chaud & du froid ſur le ſpiral.

1895. Quant aux effets que le froid ou le chaud produiſent ſur le grand reſſort d'une montre, nous croyons que l'on peut en négliger la conſidération, & que cela tend foiblement à déranger la juſteſſe du régulateur, lorſque la machine eſt bien diſpoſée ; car ſi d'un côté le froid augmente la force du reſſort moteur, de l'autre le froid augmente la réſiſtance ou frottements des roues, par l'épaiſſiſſement ou coagulation des huiles des pivots ; enſorte que la force communiquée au régulateur par la roue d'échappement eſt preſque la même par le chaud ou par le froid. Examinons cependant plus particuliérement encore ici l'effet que doit produire l'épaiſſiſſement des huiles ſur une montre, ſoit à cylindre, ou à roue de rencontre.

1896. La force motrice des montres eſt aſſez conſtamment la même au moyen de la fuſée ; & quoiqu'à la longue un reſſort perde de ſa force, la diminution n'en eſt pas aſſez conſidérable pour produire de grands écarts ; mais une choſe qui diminue aſſez l'action de la force motrice ſur le régulateur, eſt l'épaiſſiſſement des huiles : voyons quel effet cela doit produire ſur une montre à cylindre & ſur une montre à roue de rencontre. La diminution de force motrice dans la montre à cylindre, diminue la preſſion de la roue ſur le cylindre, ce qui la fait avancer, ainſi que nous l'avons expliqué & fait voir par l'expérience (1655) ; mais à meſure que les huiles des pivots des roues ſe coagulent, à meſure auſſi l'huile des pivots de balancier eſt coagulée, ce qui retarde la vibration du balancier ; ainſi il peut fort bien arriver qu'à une montre à cylindre, la coagulation de l'huile ne change pas la juſteſſe,

puiſque l'accélération cauſée par la diminution de force que les huiles coagulées ôtent aux roues, peut être compenſée par le retard que cauſe l'huile des pivots de balancier lorſqu'elle eſt coagulée.

1897. Nous verrons ci-après que dans les montres à roue de rencontre, la diminution de force motrice les fait retarder; or comme les huiles coagulées diminuent l'action des roues ſur l'échappement, ce ſera la même choſe que ſi on eût retranché la force motrice; ainſi la coagulation des huiles tend à faire retarder une montre à roue de rencontre. Mais à cette cauſe de retard il s'en joint une autre; c'eſt le retard cauſé par la coagulation de l'huile des pivots de balancier: une montre à roue de rencontre doit donc aller en retardant, à meſure que les huiles ſe coagulent; tandis que dans les montres à cylindre cela peut ſe compenſer: c'eſt peut-être ici le ſeul avantage d'une montre à cylindre ſur une montre à roue de rencontre.

1898. Au reſte, la quantité de variation cauſée par la coagulation des huiles, doit changer ſelon que les frottements ſont plus ou moins grands, & ſur-tout, ſelon la relation de la quantité de mouvement de la montre, & les réſiſtances des huiles; car ſi la quantité de mouvement de la montre eſt très-grande, les réſiſtances des huiles produiront de moindres effets par le froid, comme nous l'avons fait voir: le même raiſonnement eſt appliquable aux huiles coagulées.

1899. Enfin il peut arriver aux montres à cylindre, que la coagulation des huiles les faſſe avancer; comme ſi, par exemple, les pivots des roues étoient fort gros, & ceux du balancier très-petits, le balancier étant grand, & ayant beaucoup de mouvement; car les pivots des roues étant gros, lorſque les huiles ſeront coagulées, elles diminueront une grande partie de l'action de la roue d'échappement ſur le cylindre, ce qui accéléreroit les vibrations, (1655); or nous ſuppoſons que les pivots de balancier ſeroient fins, & le balancier grand; ainſi il arriveroit que la coagulation des huiles de ces pivots ne retarderoit pas autant les vibrations du balancier que la di-

minution de force de la roue d'échappement les accéléreroit ? donc la montre avanceroit par la coagulation des huiles.

1900. Le contraire arrive, si on suppose que le balancier soit petit ou qu'il ait de gros pivots, &c. qu'enfin les pivots des roues soient proportionnellement plus petits.

1901. On peut juger par ces différentes observations, combien les montres doivent faire des écarts opposés par l'infinie variété de combinaisons dont elles sont susceptibles, lorsqu'on n'est pas conduit par des principes ; ainsi on peut bien assurer, que si on n'a pas égard à ces combinaisons qui avoient échappé à ceux qui ont traité de l'horlogerie, c'est au hazard qu'est dûe la justesse des montres qui vont passablement.

1902. Les montres à roue de rencontre ont cet avantage très-essentiel, c'est de faciliter les moyens de proportionner la masse du balancier à la force motrice ; la personne la moins adroite pouvant le faire ; car, selon nos principes, si une telle montre avance par le chaud, c'est une preuve que le balancier est trop léger : or en fabriquant la montre, on peut lui donner une telle pesanteur que le chaud ni le froid n'y influent : c'est en faisant d'abord tirer 24 min. (*) au balancier, & en la réglant, on peut l'éprouver du chaud au froid : si la chaleur fait retarder la montre, c'est une preuve que le balancier est trop pesant ; alors on fait tirer la montre 25 ou 26 minutes ; ce qui est relatif aux frottements des pivots : or on doit adopter un calibre, & faire toujours les pivots de même grosseur ; alors en donnant le même poids au balancier, on peut, sans éprouver chaque montre que l'on fait, les exécuter toutes, de maniere qu'elles soient à l'abri des écarts.

1903. S'il arrive qu'il y ait des montres à cylindre qui aillent mieux que celles à roue de rencontre, c'est que les Ouvriers qui les font y apportent infiniment plus de soins ; car si on donnoit les mêmes attentions à celles à roue de rencontre, elles iroient au moins aussi bien, & on les feroit toujours par-

(*) Faire tirer 24 minutes à un balancier, est une expression des Artistes, pour dire que la montre auroit retardé de 36 minutes par heure, si on avoit ôté le ressort spiral du balancier.

faites à coup sûr & sans tâtonner, comme cela arrive à celles à cylindre, que nous regardons comme moins parfaites dans leurs principes, & d'autant plus que peu d'Ouvriers ont assez d'intelligence pour les construire convenablement ou pour les reparer, chose à laquelle il faut avoir bien égard, puisque la plupart de nos ouvrages sont pour l'étranger; & que s'il y arrive des accidents, on ne peut les reparer sur les lieux; obstacle qui à la vérité seroit peu de chose, si le méchanisme étoit plus propre à donner de la justesse; mais nous avons suffisamment prouvé le contraire.

CHAPITRE XXXI.

Des Expériences que j'ai faites pour vérifier les principes établis sur les effets du chaud & du froid sur les Montres : maniere de les corriger.

I. EXPÉRIENCE.

1904. J'AI pris une montre à cylindre qui bat 18720 vibrations & dont le balancier étoit petit : l'ayant portée dix heures dans mon gousset, elle a avancé d'une minute 40 secondes ; ainsi en 24 heures elle auroit avancé de 4 minutes. Je l'ai ensuite *pendue* au froid de 4 deg. au-dessus de la glace ; en 8 heures elle a retardé de 3 min. $\frac{1}{2}$; ainsi en 24 heures elle auroit retardé de 10 min. $\frac{1}{2}$. Or elle auroit avancé en pareil temps de 4 minutes, étant dans mon gousset, c'est-à-dire, à la température de 27 deg. (*) ; la différence causée par le

(*) Pour vérifier la justesse des montres ou leurs écarts par le chaud & le froid, je les porte dans mon gousset : or pour connoître la chaleur qu'elles éprouvent, j'ai

chaud & le froid, eſt donc de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24 heures; or comme le balancier décrivoit de fort grands arcs, qu'il eſt petit & que ſes pivots étoient fort gros, j'ai commencé par faire un balancier plus peſant, & tel que la montre étant reglée étoit prête d'arrêter au doigt; dans cet état je l'ai fait marcher au froid, & enſuite dans mon gouſſet; & au lieu de retarder de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24 heures, elle ne retardoit plus que de 3 min. dans le même temps: n'ayant pas été content de cette approximation, j'ai diminué les pivots du balancier pour en réduire le frottement; j'ai reglé de nouveau la montre. Voici ce que j'ai obſervé.

1905. L'ayant ſuſpendue par ſon cordon, elle a avancé de 11 ſecondes en 13 heures; miſe à plat pendant 13 heures, elle a avancé de 55 ſecondes; c'eſt donc 44 ſecondes dont elle avance de plus, lorſqu'elle eſt à plat (*); je l'ai fait marcher dans mon gouſſet pendant 9 heures, elle a retardé 35 ſecondes; elle auroit donc retardé de 93 ſecondes en 24 heures: étant expoſée au froid, elle a avancé de 26 ſecondes en 24 heures, c'eſt-à-dire, que la chaleur du gouſſet l'a fait retarder de 2 min. en 24 heures: tandis que la chaleur la faiſoit avancer, avant que j'y euſſe touché, de 14 min. $\frac{1}{2}$; la correction que j'ai faite a donc non-ſeulement détruit ſon premier effet, mais elle retarde par la chaleur, au lieu d'avancer comme auparavant.

1906. Enfin j'ai ôté un peu du balancier, & je l'ai tellement réglée, qu'elle n'avance pas de 20 ſecondes en 24 heures du chaud au froid.

1907. Il réſulte donc de cette expérience, 1°, qu'en augmentant le poids du balancier j'ai diminué l'étendue des arcs, & que la montre, au lieu de retarder de 14 min. $\frac{1}{2}$ en 24

fait un petit Thermometre de comparaiſon ſur les degrés de M. de Réaumur; je le place dans mon gouſſet pour en connoître la température ſelon les ſaiſons, & juger les écarts des montres.

(*) Je n'ai pas voulu corriger cet effet du plat au pendu, par cette raiſon que lorſqu'une montre eſt portée, elle eſt plutôt à plat que pendue; or celle-ci retarde actuellement par le chaud; ainſi l'avance occaſionnée par la ſituation horizontale ſervira à corriger le retard produit par le retard du gouſſet, ce que j'ai confirmé par l'expérience; car cette montre ne fait pas 20 ſecondes d'écart en 24 heures, quoiqu'on l'expoſe au chaud ou au froid.

heures, ne retardoit plus que de 3 min. dans le même temps; 2°, qu'en diminuant les pivots j'ai diminué les frottements, & qu'au lieu de retarder de 3 min. par le froid, elle avançoit au contraire de 2 min. enfin ayant diminué le poids du balancier, ce qui augmente l'étendue des arcs, la montre n'avance ni ne retarde par le chaud & le froid. J'ai donc prouvé par l'expérience la vérité des principes que j'ai établis, & qui étoient ignorés ci-devant, & fort loin de tout ce qu'on a écrit sur les montres.

II. EXPÉRIENCE.

1908. UNE montre à roue de rencontre fait par G. faisoit des écarts considérables du froid au chaud; car étant réglée dans une température moyenne de 10 deg. lorsque je l'exposois au froid de la glace elle retardoit de 5 min. en 8 heures, ce qui, selon mes principes, prouvoit, ou que le balancier étoit trop léger, ou la force motrice trop grande, ou les pivots des balanciers trop gros, ou bien enfin chacune de ces choses y concouroit; mais pour ne pas compliquer les effets en rendant l'expérience douteuse, j'ai fait premiérement affoiblir le grand ressort; & comme la montre tiroit 27 min. sans spiral, avant de diminuer le ressort moteur; après l'avoir diminué, elle tiroit 24 min. par heure sans spiral: j'ai de nouveau réglé la montre, & l'ai fait marcher dans mon gousset, dont la température moyenne est de 27 degrés au-dessus de la glace; je l'ai ensuite fait marcher au froid de la glace, mais elle retardoit encore de près de 2 min. par le froid de plus que dans le gousset: ainsi ce que j'ai fait n'étoit pas encore suffisant; mais comme la force motrice n'étoit pas trop grande, vu que la montre étoit prête d'arrêter au doigt; que d'ailleurs les pivots de balancier étoient trop gros, & que le balancier étant petit, étoit trop pesant du centre, ce qui tendoit à augmenter les frottements des pivots, sans augmenter l'inertie du balancier, ensorte que cela tendoit à augmenter le retard par le froid; j'ai ôté de la matiere du

balancier vers le centre, ce qui a diminué ſon poids d'une ſeptieme partie; j'ai fait de nouveau tirer le balancier ſans ſpiral, & il faiſoit 24 min. par heures comme auparavant, ce qui prouve que l'inertie du balancier n'avoit pas changé; mais alors le ſpiral étoit trop fort en le laiſſant au même point où il étoit avant que de diminuer le centre du balancier, ce qui devoit naturellement arriver, puiſqu'il avoit à mouvoir une moindre maſſe, & que les frottements des pivots en étoient diminués : enfin j'ai nettoyé & remonté la montre, & l'ai réglée à la température de 5 deg. je l'ai enſuite portée dans mon gouſſet, elle a retardé d'une minute en 12 heures : ainſi, par cette correction, la montre qui avançoit d'abord par la chaleur, retarde maintenant par la même chaleur; la diminution des frottements a donc produit cet effet : ainſi, en diminuant inſenſiblement de la peſanteur du balancier, elle décriroit de plus grands arcs; & la montre ſeroit amenée au point de n'avancer ni de retarder par le chaud & le froid: cette expérience prouve donc auſſi la vérité des principes.

1909. Il eſt bon d'obſerver ici par rapport à une montre dont les pivots de balancier ſont gros & le balancier petit, qu'il arrivera que la montre nouvellement nettoyée pourra bien aller juſte; mais qu'à meſure que les huiles s'épaiſſiront, les frottements ſeront plus grands, & qu'elle ira par ce moyen en retardant, & juſques-là qu'elle variera encore du chaud au froid; car une telle machine qui n'eſt pas bien diſpoſée eſt dans une mutation continuelle.

1910. Lorſqu'une montre avance par la chaleur; le meilleur moyen de la corriger n'eſt pas toujours de diminuer la force motrice; car ſi les pivots de balancier ſont trop gros, & que le balancier ſoit trop léger, il ſeroit préférable d'en faire un autre plus peſant, & de diminuer les pivots; on augmenteroit par-là la quantité de mouvement; ainſi les changements des huiles ſeroient moins ſenſibles.

1911. La réſiſtance ou frottement des pivots de balancier change ſelon que les huiles ſont plus ou moins fraîches

&

& liquides ; car lorſque les huiles ſont fraîches, elles diminuent davantage le frottement des pivots ; ainſi le balancier va plus vîte, & au contraire ; c'eſt par cette raiſon qu'à meſure que les huiles s'épaiſſiſſent, la montre va en retardant ; cela confirme encore notre théorie. Il eſt donc bien eſſentiel de donner la plus grande puiſſance poſſible au balancier, pour vaincre les inégalités des frottements, de diminuer la groſſeur des pivots, &c ; de cette maniere les frottements reſteront aſſez conſtamment les mêmes ; & pour que le retard qu'occaſionne le froid ſur ces pivots, compenſe l'accélération que le même froid cauſe ſur le ſpiral, il faudra que le balancier décrive de plus grands arcs de ſupplément, c'eſt-à-dire, audelà de ceux de levée ; d'où l'on voit que les arcs que doivent décrire les balanciers, varient ſelon le plus ou moins de frottements des pivots, &c ; ainſi plus les pivots & le balancier ſeront avantageuſement diſpoſés, & plus il ſera néceſſaire qu'il décrive de grands arcs ; & au contraire lorſqu'un petit balancier a de gros pivots, il faut qu'il ſoit d'autant plus prêt d'arrêter au doigt, c'eſt-à-dire, qu'il ne doit décrire que les arcs de levée.

1912. J'ai fait un très-grand nombre d'expériences qui ont toutes confirmé ma théorie : ainſi les mêmes principes ſont applicables aux montres à cylindre, à roue de rencontre, ou d'échappement quelconque connu, ce qui eſt très-indifférent.

1913. Une choſe aſſez ſinguliere que j'ai obſervée, c'eſt que ſi la force motrice d'une montre eſt trop grande, relativement à la force du balancier, la montre avancera poſée horizontalement, & retardera poſée perpendiculairement ; & ſi on diminue la force motrice juſqu'à ce qu'elle ſoit juſte de la quantité requiſe, la montre ne variera pas plus étant ſuſpendue.

1914. Il paroît donc que la cauſe qui fait varier la montre dans ces deux ſituations, ſavoir la différence des frottements, eſt la même que celle qui la fait varier du chaud au froid ; & que ſi une montre eſt bien compoſée, lorſqu'elle ſera miſe au point de ne pas varier par le chaud & le froid, elle ne

variera pas non plus, ſoit qu'elle ſoit poſée à plat, ſoit qu'elle reſte ſuſpendue.

1915. Mais s'il arrive qu'une montre aſſez bien réglée par les différentes températures varie dans ces deux ſituations, voici comment & ſur quels principes on corrigera ſes écarts. 1°, Pour faire enſorte qu'elle avance étant ſuſpendue, on arrêtera la montre, & on marquera le point le plus élevé du balancier, lorſqu'elle eſt pendue; on ôtera ce balancier & on diminuera tant ſoit peu du haut du balancier, c'eſt-à-dire, vers le point que l'on aura marqué; pour lors la montre avancera étant ſuſpendue, car la partie inférieure du balancier tend à redeſcendre avec plus de vîteſſe, après que la dent de la roue d'échappement, l'ayant remontée, la laiſſe redeſcendre: ce point eſt plus peſant, & participe à la propriété du pendule; mais il faut en ôter d'abord très-peu, & y aller petit à petit, juſqu'a ce que la montre ſoit réglée étant à plat, puis ſuſpendue; 2°, s'il arrive que l'on en ait trop ôté du haut, ou bien que la montre avance plus étant ſuſpendue qu'à plat, on en ôtera de la partie inférieure du balancier; au reſte cette opération eſt fort délicate & aſſez longue; &, comme je l'ai obſervé ce défaut ſe rencontre rarement à une montre bien diſpoſée.

1916. Nous rapporterons encore ici deux expériences qui ſervent à prouver le principe que nous avons établi ſur les réſiſtances des huiles, lorſque les forces de mouvement des balanciers ſont plus ou moins grandes.

I. Expérience.

1917. Une montre à roue de rencontre retardoit encore par le froid, malgré le rapport donné de la force motrice au balancier qui ne tiroit que 24 minutes; il étoit donc évident, ſelon mes principes, que la réſiſtance de l'huile par le froid détruiſoit une trop grande quantité de la force de mouvement du balancier, ce qui le faiſoit néceſſairement retarder: j'ai donc fait faire un reſſort beaucoup plus fort, & fait un balancier plus peſant qui tire 25 minutes; j'ai réglé la montre dans mon gouſſet, & l'ayant enſuite miſe au

froid d'un degré au-dessous de la glace, elle a avancé d'une minute en 14 heures ; ainsi j'ai diminué la résistance de l'huile en augmentant la force motrice; le principe établi est donc vrai, & démontré par l'expérience : or en diminuant un peu du poids du balancier, la montre n'avancera ni ne retardera par le chaud ni par le froid.

1918. Cette expérience prouve que lorsque les pivots de balancier sont gros & le balancier petit, il faut qu'il ait une plus grande quantité de mouvement; & qu'ainsi lorsqu'une telle montre retarde par le froid, il faut augmenter la force du ressort, & proportionnellement celle du balancier.

II. EXPÉRIENCE.

1919. UNE montre à cylindre avoit un balancier qui pesoit 4 grains $\frac{1}{2}$; il étoit beaucoup trop léger, eu égard à la force motrice qui étoit de 7 gros $\frac{1}{2}$ (511). Dans cet état, la montre étant réglée dans mon gousset, retardoit de 10 min. en 14 heures, étant à un degré au-dessous de la glace ; j'ai donc fait diminuer le ressort, ensorte qu'il ne tiroit que 5 gros $\frac{1}{4}$; alors la montre étoit prête d'arrêter au doigt; je l'ai réglée dans le gousset, & l'ayant ensuite mise au froid pendant 14 heures, elle retardoit encore de 5 minutes; ce qui prouve, selon le principe, que les résistances des huiles étoient trop grandes relativement à la force du balancier. J'ai donc fait faire un ressort qui tiroit 8 gros $\frac{1}{4}$, & un balancier qui pesoit 7 grains : j'ai réglé de nouveau la montre dans mon gousset, & l'ai exposée ensuite pendant 14 heures au froid d'un degré au-dessous de la glace; elle a avancé de 2 minutes. L'expérience démontre donc encore ce que j'ai avancé : or pour que cette montre n'avance ni par le chaud ni par le froid, il ne faut que diminuer le poids du balancier.

REMARQUE.

1920. LORSQU'UNE montre est toute neuve & nouvellement montée, le balancier doit décrire de plus grands arcs, parce qu'alors les huiles étant plus fluides, les pivots & toutes

les pieces frottantes ayant tout leur poli, cela donne plus de liberté, le reſſort ayant d'ailleurs toute ſa force ; il faut donc que dans ce cas la montre avance par la chaleur, ce qui déſigne que la force motrice eſt un peu trop puiſſante ; mais dès que la montre aura pris ſon état conſtant, c'eſt-à-dire, que le reſſort ſe ſera rendu ; que les pivots & les pieces auront perdu leur poli, les huiles leur fluidité, il arrivera que dans cet état, qui ſera enſuite aſſez conſtant, la montre n'avancera ni par la chaleur ni par le froid, ce qui ne ſeroit pas arrivé, ſi on l'eût d'abord miſe en état tel, que le froid ni le chaud n'y euſſent point influé.

Deſcription d'un Inſtrument propre à vérifier la juſteſſe des Montres.

1921. POUR vérifier la marche de mes montres ſelon leurs poſitions, inclinaiſons, ou le degré de température auquel on peut les expoſer, j'ai conſtruit la machine repréſentée (*Pl. XXIV, fig. 5*).

1922. *ABC* eſt un inſtrument connu des Horlogers, on l'appelle *la main* ; elle ſert à porter les montres, pendant qu'on les remonte ; on place pour cela la platine entre les trois griffes *ABC*, dont on en voit une repréſentée (*fig. 6*) ; ici la main ſert à fixer la montre ſur cette machine, pour la mettre dans toutes ſortes de poſitions.

1923. Cette main ſe meut à frottement ſur ſon centre *D* ; le contour de la main eſt gradué en degrés du cercle, ainſi en faiſant tourner cette main, on place le midi de la montre en haut ou en bas, ou dans toutes ſortes de poſitions : *F* eſt un index qui marque l'inclinaiſon que l'on donne au midi ; la piece *EB* qui porte la main, eſt mobile au centre du demi-cercle *IGH*, & peut tourner ſur ſon centre *G*, de maniere à placer la montre horizontalement ou verticalement, ou de toute autre inclinaiſon : l'aiguille *GK* marque ſur le demi-cercle, (gradué en degrés) l'inclinaiſon de la montre : voilà par rapport aux poſitions de la montre.

1924. Pour obſerver la température que la montre éprouve, j'ai placé un thermometre de mercure gradué ſelon les diviſions de M. de Réaumur: *L M* eſt la planche de cuivre qui porte les diviſions & le tube; *N O P Q* eſt une cloche de verre que j'entoure de glace pilée lorſque je veux produire le froid.

CHAPITRE XXXII.

De l'uſage des Échappements, leurs propriétés: de l'Iſochroniſme des vibrations du Balancier: comment on peut y parvenir.

1925. JUSQU'ICI j'ai traité du régulateur des montres, expliqué & établi les principes de juſteſſe de ces machines, ſans y faire mention des échappements, réduiſant ce méchaniſme au ſimple effet d'une ſorte d'engrenage qui entretient & donne le mouvement au balancier. Je ſuis donc fort éloigné de ſuivre ceux qui ont écrit avant moi, en attribuant à l'échappement des propriétés imaginaires, démenties par l'expérience & par le raiſonnement. Au reſte, comme je ne veux pas, ainſi que ces Meſſieurs, que l'on m'en croie ſur ma propre parole, j'ai commencé dans les Chapitres précédents à établir des principes vérifiés par l'expérience ſur le régulateur des montres: je vas travailler dans celui-ci à faire voir qu'aucun des échappements connus ne corrige les inégalités de la force motrice. Quant aux effets du chaud & du froid, les principes que j'ai établis, & les expériences que j'ai rapportées, ont ſuffiſamment prouvé que l'échappement n'entre pour rien dans les écarts que produiſent le chaud & le froid; ainſi, bien loin que je change quelque choſe à ce que j'avançai dans ma lettre à M. Camus, le raiſonnement & l'expérience n'ont ſervi qu'à me prouver que ce que je penſois en 1752 & 1754 ſur la juſ-

teſſe des montres, eſt fondé ſur les loix du mouvement, confirmé par le raiſonnement & l'expérience : on ne ſera donc pas ſurpris ſi je m'arrête à cet article ; la théorie que j'ai établie, m'ayant paru aſſez neuve & aſſez intéreſſante pour mériter que je jouiſſe du ſeul but que je me ſuis propoſé, celui de m'inſtruire, & d'être utile : & quoique cette théorie ne paroiſſe pas auſſi brillante aux yeux du commun des hommes, que l'annonce merveilleuſe d'un échappement qui corrige tous les défauts des montres, il me ſuffit que les Savants en méchanique veuillent en faire quelqu'eſtime. Nous ne nous ſommes pas contenté de faire voir par le raiſonnement, qu'aucun échappement ſoit à repos ou à recul, ni enfin aucun des échappements dont on ſe ſert, ne corrige les inégalités de la force motrice (*Part. II. Chap. XVI & XVII*), & bien moins encore les écarts très-conſidérables produits par le chaud & le froid ſur le ſpiral & les huiles (1880 *& ſuiv.*). Et quoique nous ayons déja confirmé ces principes par les expériences rapportées dans le Chapitre précédent, nous traiterons encore ici des effets des échappements dans les montres.

PROPOSITION.

1926. LES oſcillations libres d'un balancier ſimple, abſtraction faite de la réſiſtance de l'air & des frottements des pivots, ne peuvent être iſochrones, c'eſt-à-dire, les grands ou petits arcs ne ſont pas exactement parcourus dans le même temps ; il eſt bien vrai, que ſelon les expériences de s'Graveſande, les vibrations des reſſorts ſont iſochrones (1813) ; mais comme le ſpiral ne détermine qu'en partie la vîteſſe du balancier, laquelle eſt ſinguliérement réglée par l'inertie de ce balancier, il arrive que plus l'eſpace parcouru par le balancier ſera grand, & plus il y employera de temps ; c'eſt ce que j'ai confirmé par les expériences faites avec le balancier de la *Pl. XVIII, fig.* 13.

1927. Mais quand même il arriveroit que les oſcillations du balancier libre qui ſe meut ſéparement d'un rouage, ſeroient iſochrones, cela ne prouveroit pas qu'elles le ſoient

encore, lorſqu'elles ſont entretenues en mouvement par un échappement à repos ; car ſi on augmente la tenſion ou la force du moteur, les arcs de vibrations du balancier ſeront plus grands, puiſque l'impulſion de la roue d'échappement ſera plus grande : ainſi la partie de l'oſcillation qui ſe fait par la levée de l'échappement ſera plus grande & aura plus de vîteſſe qu'elle n'avoit avant l'augmentation de la force. Mais le balancier ayant conſumé toute la force reçue par l'impulſion de la roue, il ne reſtera, pour le ramener, que le ſpiral : or la preſſion de la roue d'échappement ſur le repos du cylindre, empêchera le balancier de revenir avec la même vîteſſe qui avoit été communiquée par la roue d'échappement. Ainſi il arrivera qu'une augmentation de force motrice fera retarder la montre ; &, au contraire, en diminuant la force motrice, la montre avancera : ce raiſonnement eſt vérifié par autant d'expériences que j'ai vu de montres à cylindre, quelles que fuſſent les dimenſions de leurs balanciers, ſoit qu'ils fuſſent petits & à vibrations promptes, ſoit qu'ils fuſſent grands & peſants, à vibrations lentes ; enſorte que je ne conçois pas comment des gens qui ont travaillé toute leur vie à faire de ces ſortes d'échappements, ont pu avancer un fait dont la fauſſeté eſt ſi aiſée à démontrer. D'autres perſonnes auſſi peu inſtruites, mais qui en ont été les échos, ont répété la même abſurdité ; & c'eſt d'après ces propriétés merveilleuſes que l'on a travaillé à faire de nouveaux échappements, ſans avoir auparavant recherché quelles en ſont les véritables fonctions, leſquelles ne peuvent être (dans le méchaniſme connu) que d'entretenir le mouvement du balancier ; enſorte qu'ils ont négligé la partie eſſentielle qui donne la régularité. Pour mieux confirmer mon principe, j'ai compoſé la machine (*Pl. XXIII, fig.* 1) : voyez ſon uſage & les expériences que j'ai faites, Chapitre XVII, Art. *1646, & ſuiv.*

1928. Si on augmente la force motrice d'une montre à roue de rencontre, cette montre avancera, quoique les arcs de vibrations ſoient plus grands ; car l'action de la roue agiſſant continuellement ſur les palettes, elle fera aller le balan-

cier avec d'autant plus de vîteſſe, que la force d'impulſion ſera plus grande, de maniere que les oſcillations de ce balancier ſeront abſolument différentes de ce qu'elles auroient été, ſi elles ſe faiſoient librement; & au contraire, ſi on diminue la force motrice, les arcs parcourus par le balancier ſeront plus petits; mais comme ces oſcillations ſe feront plus librement, elles ſeront plus lentes: cela eſt confirmé par l'expérience. Il eſt fort aiſé de répéter les expériences que je viens de rapporter; & on verra, que non-ſeulement les vibrations d'une montre à repos ſont ralenties par l'augmentation de force motrice, mais que, de plus, ſi on l'augmente à un certain point, la montre arrêtera.

1929. Il réſulte donc de ces expériences, qu'en augmentant la force motrice d'une montre à cylindre, quoique les arcs décrits par le balancier ſoient plus grands, ils ſont plus de temps à être parcourus; & qu'au contraire, en augmentant la force motrice d'une montre à roue de rencontre, les arcs parcourus par le balancier, quoique plus grands, ſe font en un moindre temps; ainſi de la même cauſe il en réſulte des effets contraires: il ſuit delà qu'on pourroit, abſolument parlant, parvenir à l'uniformité, en faiſant un échappement qui ne fût ni à repos, comme celui à cylindre, ni à recul, comme celui à roue de rencontre, mais qui ſeroit formé par une courbure ſur laquelle la roue d'échappement agiroit tellement, qu'à meſure que la force motrice augmenteroit, à meſure auſſi la courbure s'oppoſeroit aux trop grands mouvements du balancier, lequel en revenant ſur lui-même, ſeroit preſſé par l'appui de la dent, & par la tenſion du ſpiral qui agiroit dans ce cas avec toute la puiſſance; cette courbure pourroit être telle, que les grandes & petites oſcillations ſeroient parcourues dans le même temps, quelle que fût la force motrice: or ſi cette courbure n'eſt pas facile à déterminer géométriquement, elle n'eſt pas fort aiſée à exécuter; ainſi un tel échappement rencontre d'aſſez grandes difficultés, & d'autant plus que cela varieroit ſelon la nature des reſſorts ſpiraux, &c.

1930. Il eſt conſtant par les remarques ſur les échappements

ments à cylindre, que la partie de l'oſcillation qui ſe fait immédiatement après l'impulſion de la roue eſt plus prompte que l'autre partie qui n'eſt ramenée que par le ſpiral ; ainſi lorſque la roue n'agira plus après l'impulſion ſur une partie circulaire, mais ſur une courbe ou plan incliné, alors la vîteſſe immédiate de l'oſcillation qui ſuit l'impulſion ſera moins grande, étant retardée par la courbure ; & au contraire, l'autre partie de l'oſcillation ſera aidée par l'appui de la dent ſur la courbure. Au reſte, lorſqu'une montre ſera compoſée d'après les principes que j'ai établis, les inégalités de ſa force motrice cauſeront de très-petites variations, ſur-tout ſi cette force motrice eſt bien diſpoſée.

1931. Il eſt très-eſſentiel de tellement conſtruire les échappements de montres & de pendules, que les oſcillations ne ſoient pas dérangées par l'action de l'échappement & l'impulſion du rouage, mais qu'elles ſe faſſent, autant qu'il eſt poſſible, comme ſi le régulateur vibroit indépendamment du rouage. Pour parvenir à ce but, il ne faut pas faire des dents de roues d'échappements trop diſtantes entr'elles, mais au contraire les tenir auſſi petites que l'exécution le peut permettre, ce qui réduira la traînée.

1932. L'impulſion de la roue, lorſqu'elle reſtitue le mouvement du régulateur, change peu l'iſochroniſme ; mais l'appui du repos ou l'inſtant du recul, ſi l'échappement eſt à recul, ſont les cauſes du dérangement des vibrations : l'appui du repos retarde les vibrations ; & trop de recul les accélere (*1646* & *1656*) : or plus le temps ſur le repos ſera long, & plus le dérangement de la vibration ſera grand. Si donc l'on a un échappement à repos qui ait peu de levée, & que la force motrice faſſe cependant décrire de grands arcs, le dérangement en ſera beaucoup plus grand : or nous avons vu qu'il eſt préférable de faire parcourir des grands arcs au balancier (1837) ; il faut donc augmenter pour cet effet la levée de l'échappement le plus qu'il eſt poſſible, puiſque, plus le temps de l'appui ſur le repos ſera grand, & plus auſſi ſera grand le dérangement de

la vibration : le même raisonnement doit s'appliquer aux échappements à recul. S'il étoit possible de rendre isochrones les oscillations du balancier d'une montre, il faudroit composer l'échappement, de maniere que le recul accélérât la vibration, à mesure qu'elle devient plus étendue, en employant le même moyen dont je me suis servi pour les horloges à ressort (1657) : or comme les balanciers doivent décrire des grands arcs, & qu'il n'est pas possible d'appliquer à l'échappement de Graham la courbure dont nous avons parlé, nous imaginons que si l'on vouloit faire une montre, la plus parfaite qu'il est possible, & propre à mesurer le temps sur mer, on y parviendroit en faisant un échappement pareil à celui déja cité ; mais à cela près que cet échappement ne seroit pas porté par l'axe même du balancier : l'axe de l'échappement porteroit un rateau denté, dont les dents engreneroient dans un pignon porté par l'axe du balancier : de cette maniere le balancier parcourroit de grands arcs, & l'échappement de fort petits. Les arcs de levée de l'échappement feroient parcourir des grands arcs au balancier, & les arcs de supplément du balancier seroient très-petits. En voici le méchanisme.

(*PLANCHE XXIII, Figure 5*).

1933. *CD* est le balancier ; *A*, la roue d'échappement ; *B*, l'ancre d'échappement avec les plans inclinés pour rendre les oscillations isochrones ; *b*, est le rateau ; *a*, le pignon dont l'axe porte le balancier. Si le rayon du pignon est dix fois plus petit que celui du rateau, le balancier fera un tour, tandis que le rateau parcourra la dixieme partie de sa circonférence, c'est-à-dire, qu'il décrira un arc de 36 degrés : si donc on veut que l'arc de levée de l'échappement fasse parcourir 180 degrés au balancier, le rateau ne parcourra que 18 degrés pour l'arc de levée ; ainsi la roue fera parcourir à chaque côté de l'ancre un arc de 9 degrés pour l'arc de levée ; on fera donc les plans inclinés de l'ancre en conséquence, afin de rendre les oscilla-

tions isochrones. Un tel échappement auroit la propriété d'avoir peu de frottement & un rouage simple, car la roue d'échappement pourroit être fort nombrée.

1934. Au reste, il est bon de remarquer que cet échappement, malgré ses avantages apparents, ne pourroit rendre les oscillations isochrones que dans les cas où les huiles conserveroient leur même fluidité ; mais les huiles varient à chaque instant, ce qui change nécessairement les temps des vibrations du balancier; or l'échappement n'auroit que la propriété de corriger les inégalités de forces motrices, & non celles qui sont causées par les huiles, &c, qui sont très-considérables. Nous devons d'ailleurs observer que la force motrice d'une montre change assez peu, & que les écarts d'une montre ne viennent point du tout delà, mais des autres causes que nous avons expliquées ci-devant. Enfin, par rapport à l'échappement d'une montre, on pourroit disposer celui à roue de rencontre, de maniere à rendre très-sensiblement ses oscillations isochrones (malgré l'inégalité de la force motrice); cela dépend du plus ou moins d'engrenage de la roue avec les palettes.

CHAPITRE XXXIII.

Principes sur les forces de mouvement des Balanciers.

1935. ON DÉMONTRE que les forces que les corps en mouvement emploient à vaincre des obstacles, sont en raison composée de leurs masses, & du quarré de leurs vîtesses. *

1936. Or, comme la force produite dans un corps est

* On peut voir ce principe démontré dans l'excellent ouvrage de Physique de s'Gravesande & dans Musschembroek ; les expériences que nous rapporterons ci-après servent aussi à les confirmer.

égale à l'action qui la cause, il suit delà que la force qui a été employée à procurer un mouvement à un corps, est comme le produit de la masse de ce corps, par le quarré de la vîtesse qu'il a acquise. Si donc on appelle m la petite masse, M la grande, v la petite vîtesse, V la grande vîtesse, f la Force produite par la petite vîtesse & par la petite masse, F la force produite par la grande : on aura d'après ce principe $f : F :: v^2 m : V^2 M$, donc $f V^2 M = F v^2 m$.

COROLLAIRE I.

1937. SI dans l'équation précédente on fait $f = F$, elle deviendra par la réduction $V^2 M = v^2 m$: donc $V^2 : v^2 :: m : M$. C'est-à-dire, que si les forces de deux corps en mouvement sont égales, leurs masses seront en raison inverse des quarrés des vîtesses ; & réciproquement toutes les fois que les masses seront en raison inverse du quarré des vîtesses, les forces des corps en mouvement seront égales.

COROLLAIRE II.

1938. SI $m = M$, on aura $f : F :: v^2 : V^2$; c'est-à-dire, que si les masses des deux corps sont égales, les forces des corps seront entr'elles, comme le quarré de leurs vîtesses.

COROLLAIRE III.

1939. SI $v = V$, on aura $f : F :: m : M$; lors donc que les vîtesses des deux corps sont égales, les forces des corps sont entr'elles comme les masses.

1940. Or les actions ou puissances requises pour donner le mouvement à deux corps, sont comme les forces de ces corps : on peut donc considérer ici ces puissances, au lieu des forces produites par les corps : ainsi les corollaires sont également vrais à l'égard des puissances.

1941. En appliquant ces principes aux balanciers des

montres, on en conclura ce qui qui suit :

1942. I°, Si les masses de deux balanciers en mouvement sont en raison inverse des quarrés des vîtesses, les forces des balanciers sont égales (corollaire I); ou si les forces sont égales, les masses sont en raison inverse du quarré des vîtesses : par exemple, si la vîtesse de *A* est 1, & celle de *B* 2, le quarré de la vîtesse de *A* est 1, & celui de *B* est 4; si donc la masse du balancier *A* est 4, & celle de *B* 1, les forces des balanciers seront égales, &c : les actions requises pour en entretenir le mouvement seront entr'elles comme le produit des masses, par le quarré des vîtesses.

1943. II. Si deux balanciers ont des masses égales, & sont mus avec des vîtesses inégales, leurs forces seront comme les quarrés de leurs vîtesses : ainsi le balancier *A* ayant une vîtesse 1, & le balancier *B* 5, la force du balancier *A* sera à celle de *B*, comme 1 est à 25; mais l'action requise, pour donner le mouvement au balancier *A*, est à celle qu'il faut pour donner le mouvement au balancier *B*, comme la force de *A* est à celle de *B*; c'est-à-dire, que l'action requise pour entretenir le mouvement de *A*, est à celle de *B*, comme 1 est à 25.

1944. III. Si les vîtesses des deux balanciers sont égales, leurs forces seront entr'elles comme les masses; ainsi les actions requises, pour entretenir leurs mouvements, seront aussi comme les masses.

1945. IV. En général, si les vîtesses & les masses des deux balanciers sont inégales, leurs forces seront comme le produit des masses par les quarrés des vîtesses.

1946. Nous nous servirons de ces principes pour déterminer les pesanteurs des balanciers, leurs diametres selon le nombre des vibrations, la force requise pour leur faire parcourir les arcs quelconques, &c.

1947. Nous prouverons par les expériences que nous rapporterons ci-après, qu'ayant donné les masses des balan-

ciers d'après ces principes, les forces des corps en mouvement sont en effet en raison composée des masses & des quarrés des vîtesses. Connoissant donc la masse d'un balancier, sa vîtesse, la force qui le met en mouvement, on en déduira facilement toutes les conditions requises pour un autre balancier, lorsqu'il devra avoir une masse différente, plus ou moins de vîtesse, plus ou moins de force pour se mouvoir, &c.

1948. Pour comparer les vîtesses de deux balanciers, il faut multiplier le nombre de vibrations pendant un temps donné par le diametre de chaque balancier; les produits exprimeront les vîtesses, en supposant qu'ils décrivent des arcs semblables; mais si cela n'est pas, il faudra faire un produit pour chaque balancier de ces trois choses; 1°, du nombre de vibrations dans le même temps; 2°, du diametre ou du rayon du balancier; 3°, de l'arc parcouru par le balancier: nous en ferons voir l'application par des exemples dans le Chap. suiv.

CHAPITRE XXXIV.

De la maniere de calculer les pesanteurs que doivent avoir les Balanciers des Montres, relativement au moteur, à l'étendue de leurs arcs, diametres, nombres de vibrations, &c.

1949. JUSQU'ICI nous avons fait voir que la justesse des montres dépendoit d'un certain rapport entre la force motrice & le régulateur; nous allons maintenant donner des méthodes propres à trouver quelle doit être la pesanteur du balancier d'une montre à cylindre, lorsque la force motrice, le diametre du balancier, & les arcs qu'il doit parcourir sont donnés; ou si le balancier étant donné, on veut savoir la

quantité que doit avoir la force motrice pour être dans le rapport convenable avec le régulateur. La difficulté de proportionner la pesanteur du balancier est très-grande dans les montres à cylindre, car jusques ici on n'a approché du point requis que par le tâtonnement; de sorte que des Ouvriers qui ont fait toute leur vie de ces sortes de montres, faisoient leurs balanciers à tout hazard; j'en ai même vu un, qui faisant une montre dont le balancier étoit plus grand, avec des vibrations plus lentes, donnoit 4 fois trop de pesanteur au balancier, ensorte que pour que la montre marchât, il étoit obligé de diminuer insensiblement le balancier; d'autres fois il faisoit un balancier trop léger; enfin j'ai vu ce même Ouvrier donner des prétendues regles d'un méchanisme qu'il n'avoit pas conçu (l'échappement à cylindre). Comme la matiere que nous traitons est neuve, je m'y arrêterai de maniere à la faire concevoir, en établissant des principes qui sont une suite des loix du mouvement; enfin nous observons, que jusqu'à présent on a eu peu d'égard à ce poids; car on s'est imaginé que les inégalités de la force motrice étoient toujours corrigées par une propriété imaginaire de l'échappement à repos. Nous avons suffisamment prouvé le contraire par le raisonnement & par les expériences que nous avons faites & rapportées ci-devant.

1950. Il suit de ce qui précede, qu'il est très-essentiel de proportionner la force motrice au régulateur, & que cette force agisse uniformément sur le rouage d'une montre. Ceux qui ont supprimé la fusée dans les montres, ont été fort aveuglés par les propriétés imaginaires de leurs échappements, & fort peu instruits des propriétés de cette belle invention (la fusée); car indépendamment de ce qu'elle est utile pour la justesse de la montre, elle a une propriété essentielle; c'est que toute la force du ressort est employée utilement, & qu'elle sert à faire marcher la montre plus de temps qu'elle ne feroit, s'il n'y avoit qu'un simple ressort sans fusée. Voyez n°. 451.

1951. Quant aux montres à roue de rencontre, nous ne nous y arrêterons pas; car il est assez facile de proportion-

ner le poids du balancier à la force motrice, quels que ſoient ſon diametre, les arcs qu'il parcourt, &c. Pour cet effet, on fait marcher la montre ſans ſpiral, de maniere qu'en une heure l'aiguille de minutes faſſe 25 à 27 minutes, ceſt-à-dire, que la montre retarde ſans ſpiral de 33 ou de 35 minutes : or cette quantité doit varier comme nous l'avons fait voir (1891), ſelon les frottements des pivots la grandeur des balanciers; ainſi on ne peut pas dire qu'il faille faire tirer une montre 30, 27, 25 ou 23; cette quantité doit être différente à chaque montre, c'eſt à quoi on n'a jamais eu égard : les mêmes regles que nous allons établir ſont également applicables aux montres à roue de rencontre; enſorte que l'on peut également déterminer par le calcul la peſanteur d'un balancier dont le moteur eſt donné.

1952. Pour parvenir exactement à proportionner le poids des balanciers des montres à cylindre à la force motrice, j'ai commencé par conſtruire un inſtrument, au moyen duquel je puis déterminer avec la plus grande préciſion, la force que le grand reſſort communique au rouage; nous avons décrit cet inſtrument dans la premiere Partie, Chapitre XXVIII. En plaçant cet inſtrument ſur le quarré de la fuſée de la même maniere qu'un levier à égaliſer les fuſées, on eſtimera la force du reſſort par le degré de la branche où le poids s'arrête pour faire équilibre avec le reſſort, (voyez ſa deſcription): c'eſt en comparant la force du moteur avec celui d'une montre donnée que nous déterminerons le poids des balanciers, &c.

1953. Pour trouver les dimenſions d'une montre que l'on veut compoſer, il faut ſe ſervir, pour terme de comparaiſon, d'une bonne montre diſpoſée le plus avantageuſement, & qui ſoit tellement exécutée que les frottements ſoient réduits à la moindre quantité; enſorte que la force motrice ait la relation requiſe avec le régulateur, pour que la montre aille le plus juſte qu'il eſt poſſible. Cela étant, on meſurera le diametre du balancier, ſon poids; on comptera le nombre de vibrations qu'il fait par heure, l'étendue de ſes vibrations; on meſurera la force du grand reſſort au moyen de l'inſtrument dont j'ai donné

donné la defcription, & enfin on comptera le temps que met la fufée à faire une révolution.

1954. J'ai préféré de partir d'après une montre faite, pour déterminer les dimenfions d'une autre différemment compofée, par deux raifons : la premiere, c'eft que le calcul en devient plus facile, & plus à la portée des ouvriers : 2°, c'eft que les dimenfions en font plus exactes qu'on ne pourroit les trouver par le feul calcul; car on ne connoît pas affez les effets des frottements, pour que la force motrice d'une montre étant donnée, ainfi que le diametre du balancier, on puiffe déterminer exactement fon poids, les arcs qu'il doit parcourir; au lieu qu'en comparant avec une montre déja faite, toutes ces données y entrent, & les dimenfions que l'on trouve pour la chofe cherchée font plus précifes.

PROBLEME I.

1955. LES dimenfions d'une montre *A* étant données; trouver quelle doit être la pefanteur du balancier d'une montre *B*, de laquelle on connoît le diametre du balancier, le nombre de vibrations.

1956. On veut, je fuppofe, que l'étendue des arcs & la force motrice foient de même grandeur que ceux de la montre de comparaifon *A*, & on demande qu'il y ait même rapport de la force motrice de la montre *B* avec fon régulateur, qu'il y a entre la force motrice de la montre *A* & fon régulateur. Voici les dimenfions de la montre donnée *A*, qui eft à cylindre ainfi que l'autre, (le calcul que nous ferons fe bornant par les raifons que nous avons dites à ces fortes de montres), le balancier de la montre *A* pefe 6 grains $\frac{1}{4}$; il a 8 lignes $\frac{1}{2}$ de diametre, fait 18000 vibrations par heure; il parcourt 240 degrés; la fufée fait un tour en 5 heures; le reffort fait équilibre avec 5 gros $\frac{3}{4}$ de force appliquée à 4 pouces du centre de la fufée.

1957. Le balancier de la montre *B*, dont on cherche les dimenfions, fait 7200 vibrations par heure. Il a 10 lignes $\frac{1}{2}$

de diametre; la force motrice eſt de 5 gros $\frac{3}{4}$, c'eſt-à-dire, la même que celle de la montre de comparaiſon; la roue de fuſée fait un tour en 5 heures: on demande quel ſera le poids du balancier *B*. Pour cet effet on trouvera la vîteſſe du balancier *A*, en multipliant le diametre 8 $\frac{1}{2}$ par 5 vibrations (*) par ſeconde, ce qui donnera 42 $\frac{1}{2}$, dont le quarré eſt 1806 $\frac{1}{4}$. On trouvera de même la vîteſſe du balancier *B*, en multipliant ſon diametre 10 $\frac{1}{3}$ par deux vibrations par ſeconde; ce qui donne 20 $\frac{2}{3}$, dont le quarré eſt 427: or ſelon ce qui a été dit (1937), ſi la force qui donne le mouvement à deux corps eſt égale, les quarrés des vîteſſes ſeront en raiſon inverſe des maſſes; on aura donc la proportion: le quarré de la vîteſſe de *A* eſt au quarré de la vîteſſe de *B*, comme la maſſe du balancier *B* eſt à la maſſe du balancier *A*; j'appelle *x* la maſſe de *B*. On a donc 1806 : 427 :: *x* : 6 grains $\frac{1}{4}$; donc en multipliant 1806 par 6 grains $\frac{1}{4}$, & diviſant par le terme moyen connu, on aura la valeur de *x*, c'eſt-à-dire, le poids du balancier *B*: on trouvera 26 grains $\frac{185}{427}$, ou environ 26 grains $\frac{1}{2}$.

1958. Si donc on fait une montre dont le balancier ayant 10 $\frac{4}{12}$ de diametre, batte 7200 vibrations par heure, peſe 26 grains $\frac{1}{2}$; que la force motrice faſſe équilibre avec 5 gros $\frac{3}{4}$, éloignés de 4 pouces du centre de la fuſée; que la fuſée faſſe un tour en 5 heures; ce balancier, dont la force ſera égale à celle du balancier de la montre donnée *A*, décrira des arcs de même étendue, & aura même relation avec ſa force motrice que celle du balancier *A* avec ſa force motrice.

PROBLEME II.

1959. TROUVER la force motrice d'une montre dont le poids du balancier, ſon diametre, & les arcs qu'il parcourt, le nombre de vibrations par heure, &c, ſont donnés.

(*) Je n'emploie pas 18000 vibrations du balancier *A* par heure, ni 7200 du balancier *B* dans le même temps; par la raiſon fort ſimple, que cela fait de trop grands nombres: il vaut mieux employer 5 par ſeconde pour *A* & 2 pour *B* dans le même temps, ces nombres 5 & 2 étant en même rapport que 18000 & 7200.

REMARQUE.

1960. Ce problême eſt applicable à une montre dont le reſſort venant à caſſer, on veut en ſubſtituer un qui ſoit convenable.

1961. Soit le balancier *B* dont le poids eſt de 20 grains, le diametre = 11 lignes, & qui fait deux vibrations par ſeconde, la roue de fuſée fait un tour en 5 heures ; on demande quel devra être le poids, qui placé à 4 pouces du centre de la fuſée, entretienne & faſſe décrire des arcs de 180 degrés au balancier : pour cet effet, on trouvera la force du balancier *B*, en multipliant ſa maſſe par le quarré de ſa vîteſſe. On trouvera de même la force du balancier de la montre de comparaiſon *A*, dont nous avons fait uſage dans le problême précédent; & ſelon le corollaire III, (1940), on fera cette proportion : la force requiſe pour entretenir le mouvement du balancier *B* eſt à la force requiſe pour entretenir le balancier *A*, comme la force du balancier *B* eſt à celle du balancier *A*. On trouvera, comme dans l'exemple précédent, les vîteſſes : pour cet effet, on fera entrer les arcs parcourus par les balanciers ; ceux de la montre donnée *A* ſont 240, & ceux de la montre *B* 180, c'eſt-à-dire, qu'ils ſont dans le rapport de 24 à 18, ou de 4 à 3 ; on ſe ſervira de ce dernier rapport pour éviter les grands nombres. Pour trouver la vîteſſe du balancier *A*, on multipliera ſon diametre 8 $\frac{1}{2}$ par 4 arc parcouru ; on aura 34, lequel multiplié par 5 (nombre des battements par ſeconde) donne 170 pour la vîteſſe de *A*, dont le quarré eſt 28900, qui étant multiplié par la maſſe 6 gros $\frac{1}{4}$ de ce balancier, donne 180625, pour exprimer la force du balancier *A*. Pour avoir celle de *B*, on trouvera premiérement ſa vîteſſe en multipliant le diametre 11 par l'arc parcouru 3, ce qui donne 33 qui multiplié par 2 (nombre de vibrations en une ſeconde) donne 66 qui eſt la vîteſſe du balancier *B*, dont le quarré eſt 4356, lequel étant multiplié par la maſſe 20 du balancier, donne le nombre 87120 qui exprime la force du balancier *B*. On aura

donc la proportion : la force exprimée par le poids 5 gros $\frac{3}{4}$, qui entretient le mouvement du balancier *A*, est à la force ou poids requis, pour entretenir celui du balancier *B*, comme la force du balancier *A* est à celle de *B* : j'appelle *x* le poids ou force motrice requise pour entretenir le balancier *B*; on a donc 5 $\frac{3}{4}$ gros : *x* : : 180625 : 87120; donc en multipliant les extrêmes & divisant le produit par le terme moyen connu, on aura la valeur de *x*, c'est-à-dire, la force motrice du balancier *B*; on trouve 2 $\frac{139690}{180625}$, c'est-à-dire 2 gros & environ $\frac{7}{9}$, qui sera la force requise pour entretenir le mouvement du balancier *B*; c'est-à-dire, qu'en appliquant un ressort qui soit tel qu'il fasse équilibre avec 2 gros $\frac{7}{9}$ situés à 4 pouces du centre de la fusée, le balancier parcourra 180 degrés, & la force motrice sera dans le rapport demandé, & pareil à celui de la montre donnée.

REMARQUE.

1962. LORSQUE les montres que l'on aura à calculer, ne feront pas exactement un nombre juste de vibrations par seconde, c'est-à-dire, lorsque ce sera d'autres nombres que 3600, 7200, 14400, 18000 par heure, & que l'on aura, je suppose, 16128 vibrations par heure; alors on divisera ce nombre par le nombre de secondes, dont une heure est composée, c'est-à-dire, par 3600; de cette maniere on aura un quotient 4 $\frac{1728}{3600}$, dont la fraction étant réduite à ses moindres termes ou aux plus petits termes possibles, les plus approchants de l'exactitude, sera ensuite employée dans le calcul. Ainsi on réduira la fraction précédente à $\frac{12}{25}$, & on aura 4 $\frac{12}{25}$ pour le nombre de battements que fait par seconde le balancier proposé ; on eût pu même, sans erreur sensible, employer le nombre 4 $\frac{1}{2}$, très-approchant du précédent, & plus commode pour le calcul : il en est ainsi des autres ; sans cela, s'il falloit employer les nombres de vibrations par heure, le calcul seroit beaucoup plus long.

Suite du Calcul des Balanciers.

1963. J'AVOIS pris d'abord pour terme de comparaiſon une montre à ſecondes ordinaire, dont les frottements étoient grands, & pouvoient être réduits à une moindre quantité.

1964. Partant des principes que j'ai établis, j'ai compoſé une montre qui y fût plus conforme : nous allons en donner les dimenſions, & rapporter les expériences que j'ai faites. Le plan de cette montre eſt vu (*Pl. XXVII, fig.* 1 *&* 2); cette montre fait 7200 vibrations par heure; le balancier en fait donc deux par ſeconde; le balancier peſe 19 grains $\frac{3}{4}$, l'arc de levée eſt de 45 degrés, la roue de fuſée fait un tour en 4 heures & demi.

1965. J'avois fait faire un reſſort qui faiſoit équilibre avec 3 gros $\frac{1}{2}$ ſitués à 4 pouces du centre de la fuſée ; mais le balancier décrivoit de trop grands arcs ; enſorte que la montre avançoit par la chaleur : ſelon mes principes, j'ai fait affoiblir le reſſort, enſorte qu'il ne tirât que 3 gros (*) ; après avoir réglé la montre, le balancier décrivoit des arcs de 240 degrés. Dans cet état, la montre a été réglée, miſe à plat & ſuſpendue, & la chaleur du gouſſet, ni le porté n'en dérangent plus la juſteſſe ; tandis qu'auparavant la chaleur la faiſoit beaucoup avancer ; actuellement la chaleur la fait retarder d'une minute en 24 heures ; en ôtant un peu du poids du balancier, je puis la régler, de ſorte qu'elle n'avance ni ne retarde plus par le chaud ni par le froid. On voit par cette expérience qu'une augmentation d'un demi-gros dans la force motrice, produit des écarts très-ſenſibles, & combien il eſt eſſentiel de proportionner la puiſſance motrice avec le régulateur.

1966. Nous pouvons donc partir d'après cette montre pour en compoſer d'autres, dont les balanciers plus grands ou plus petits faſſent des vibrations promptes ou lentes, &

(*) Cette petite diminution de force motrice a fait avancer la montre, ce qui prouve encore que l'échappement à cylindre ne corrige pas les inégalités de force motrice.

que le temps de la marche de la montre soit de 30 heures, de 8 jours, d'un mois ou d'un an, ainsi que nous allons le faire voir par les exemples suivants.

PROBLEME. III.

1967. TROUVER la pesanteur que doit avoir un balancier qui fait une vibration par seconde, & dont le diametre est de 11 lig. $\frac{5}{12}$, l'arc de levée de 45 deg. on veut que l'arc de vibration qu'il doit décrire, soit de 240 degrés; que la montre aille 8 jours sans être remontée, le ressort tire 8 gros (*) & la fusée reste 40 heures à faire un tour.

1968. J'appelle *A* le balancier de la montre de comparaison, & *B* celui de la montre à 8 jours: on calculera d'abord les nombres qui expriment la vîtesse de chaque balancier; on aura; le balancier *A* a 10 lig. $\frac{1}{3}$ de diametre; il fait deux battements par seconde; on a donc la vîtesse 20 $\frac{2}{3}$, dont le quarré est 427: le balancier *B* 11 lig. $\frac{5}{12}$; il fait une vibration par seconde; sa vîtesse est donc 11 $\frac{5}{12}$, dont le quarré est 130. Or d'après le principe (1945), on aura la proportion: le quarré de la vîtesse du balancier *A* multiplié par sa masse, est au quarré de la vîtesse du balancier *B* multiplié par la masse que j'appelle x, comme la force motrice du balancier *A* est à celle du balancier *B*; mais pour comparer ces forces motrices, il faut les réduire à une révolution qui se fasse dans le même temps; ainsi la force motrice de *A* étant de 3 gros pour la roue qui reste 4 heures $\frac{1}{2}$ à faire une révolution, elle devroit être de 26 gros $\frac{2}{3}$, si elle restoit 40 heures à faire un tour; ce que l'on trouvera, en faisant la proportion: Si une roue qui fait un tour en 4 $\frac{1}{2}$, agit avec 3 gros de force; avec combien devroit-elle agir, si elle restoit 40 heures à faire sa révolution; ou $4\frac{1}{2} : 3 :: 40 : x : = 26\frac{6}{9}$; c'est-à-dire, qu'elle devroit avoir une force de 26 $\frac{6}{9}$, agissant à 4 pouces du centre

(*) Lorsque je parle de la force d'un ressort, il est toujours sous-entendu qu'elle est mesurée par l'instrument que j'ai composé, cette force agissant, comme je l'ai dit, à 4 pouces du centre de la fusée.

de la fusée : nous aurons donc la proportion suivante $427 \times 19\frac{1}{2} : 130 \times x :: 26\frac{2}{3} : 8$; donc $427 \times 19\frac{1}{2} \times 8 = 130\,x \times 26\frac{2}{3}$, donc $66608 = 3466\,x$, donc $x = \frac{66608}{3466}$, & $x = 19$ grains ; on a donc la valeur de x, c'est-à-dire, 19 grains pour la masse du balancier *B*.

REMARQUE.

1969. Il est bon d'observer ici, que si l'on eût cherché la pesanteur du balancier *B*, en se servant de la montre *A* du premier problême pour terme de comparaison, on eût trouvé la valeur de x moindre qu'on ne l'a trouvée ci-dessus, par deux raisons : la premiere, c'est que le balancier étant plus petit, a plus de frottement, ensorte que son poids est moindre qu'il ne seroit sans ces frottements ; la seconde, c'est qu'il pourroit fort bien arriver que ce petit balancier n'étoit pas aussi bien proportionné à sa force motrice, que le balancier à demi-seconde l'est avec la sienne ; car en cherchant la pesanteur du balancier à 8 jours, en se servant de cette premiere montre de comparaison, le balancier ne seroit que de 17 grains un peu plus. Ce qui sert à me confirmer dans ce sentiment, c'est que lors que j'ai exécuté la montre à 8 jours ci-dessus, je me suis servi d'une autre montre pour terme de comparaison, & j'ai trouvé que le balancier de la montre à 8 jours, devoit être de 17 grains ; & que l'ayant fait de ce poids, il s'est parfaitement trouvé relatif à sa force motrice, décrivant alors des arcs de 240 degrés, & dans cet état la montre va fort bien & ne varie pas sensiblement du chaud au froid : il reste donc qu'il est plus léger de 2 grains qu'il ne devroit l'être, en partant d'après le calcul de la montre à demi-seconde ; or cette quantité ne peut venir que de la différence des frottements, ce qui serviroit à prouver les principes que j'ai établis, que des vibrations plus lentes qui ont une moindre quantité de mouvement, causent des frottements qui détruisent une plus grande quantité de mouvement ; tandis qu'en comparant avec une montre à petit balancier, qui a nécessairement plus

de frottements, les résultats sont exactement ceux que confirme l'expérience. Ainsi il paroît que les frottements d'une montre à vibrations lentes, & dont le balancier est pesant, ne sont pas moindres que ceux d'une montre qui a un petit balancier léger: au reste, cette différence de 2 grains n'est pas considérable.

1970. Mais il est à propos de faire observer ces différences que l'expérience donne d'après le calcul, différences causées par le plus ou moins de frottements, ce qui varie selon que les balanciers sont grands ou petits, font plus ou moins de vibrations; elles sont encore dépendantes du plus ou moins de frottement des rouages; ainsi, lorsque l'on voudra déterminer exactement par le calcul les dimensions d'une montre, il faudra la comparer à une qui n'en differe pas absolument: c'est ainsi que pour avoir le poids du balancier d'une montre ordinaire, je me sers pour terme de comparaison d'une autre montre à peu-près pareille; en comparant ainsi par gradation, sans passer tout à coup d'une montre à 30 heures à celle d'un an, on trouve des résultats très-justes & confirmés par l'expérience.

PROBLEME IV.

1971. Trouver la pesanteur du balancier d'une montre à un mois, qui fait une vibration par seconde, dont le diametre est de 10 lignes, & doit décrire des arcs semblables à la montre à 8 jours, ci-dessus, laquelle nous servira de terme de comparaison.

1972. Nous supposons que le ressort tire 10 gros, que la roue de fusée fait un tour en 5 jours. J'appelle *A* la montre de comparaison qui va 8 jours, & *B* celle à un mois.

1973. Comme les balanciers font le même nombre de vibrations, & décrivent des arcs semblables, pour avoir les vîtesses des balanciers, il ne sera besoin d'employer que les diametres. Celui de *A* est $11\frac{5}{12}$, dont le quarré est 130; celui de *B* est 10, dont le quarré est 100; réduisant les forces motrices à une révolution de même durée, on aura pour force motrice de *A* 24 gros, c'est-à-dire, que si la fusée de la montre à 8 jours

jours, faisoit un tour en cinq jours ; il faudroit que la force du ressort agît avec 24 gros : on a donc la proportion $130 \times 17 : 100 \times x :: 24 : 10$; donc $100 \times x \times 24 = 130 \times 17 \times 10$; donc $2400\,x = 22100$; donc $x = \frac{22100}{2400}$; $x = 9\frac{5}{24}$.

1974. Le balancier de la montre à un mois doit donc peser 9 grains $\frac{5}{24}$; on trouvera par le même moyen les dimensions d'une montre à un an ; mais comme celle à un mois n'est déja pas une trop bonne machine, celle à un an vaudra encore moins ; ainsi nous laissons ce calcul à ceux qui voudront s'en occuper.

PROBLEME V.

1975. UNE montre dont le balancier est petit, & fait un grand nombre de vibrations par heure, étant donnée, trouver le nombre des vibrations que devra faire un grand balancier, pour avoir la même vîtesse à sa circonférence, que celle que le balancier donné a à la sienne.

1976. Soit *A* le balancier donné, dont le diametre est de lig. $8\frac{1}{2}$, décrit des arcs de 240 degrés, & fait 18000 vibrations par heure ; & soit *B*, le balancier qui a 14 lig. de diametre, dont on cherche les vibrations : si on suppose que les arcs parcourus par les balanciers doivent être semblables; les vîtesses étant égales, les nombres de vibrations seront en raison inverse des diametres, on aura $18000 : x :: 14 : 8$. Donc $14 \times x = 18000 \times 8$; donc $14\,x = 144000$, & $x = \frac{144000}{14} = 10285\frac{5}{7}$.

1977. Le balancier *B* devra donc faire $10285\frac{5}{7}$ vibrations par heure, & décrire des arcs de 240 degr. pour avoir la même vîtesse que le balancier *A* : or dans ce cas si le balancier *B* est de même poids que *A*, selon le N°. 1944, il aura la même force; mais les frottements des pivots de *B*, seront à ceux de *A*, comme le diametre de *A* est à celui de *B*, ou comme 8 est à 14. Le balancier *B* éprouvera donc de moindres variations par les changements des frottements, puisque ces frottements étant moindres, la puissance du balancier pour les vaincre, est la même que dans le balancier *A* ; il faudra aussi une moindre force motrice pour entretenir en mouvement le balancier *B*, que pour *A*.

CHAPITRE XXXV.

De la Puissance motrice d'une Montre. Du Ressort.

1978. NOus avons vu par ce qui précéde, combien il est essentiel que la puissance motrice d'une montre soit constamment la même, puisqu'une montre quelconque connue dont on diminue ou on augmente la force motrice, fait des variations très-considérables du chaud au froid, & de la situation à plat à celle où elle est suspendue.

1979. On doit juger par-là comment doivent aller les montres qui n'ont pas de fusée pour corriger les inégalités du ressort: ces écarts ne doivent pas être moindres dans les montres à cylindre, dont le poids du balancier est donné au hazard. Nous avons essayé jusqu'ici de ne laisser échapper aucune des considérations qui peuvent rendre la justesse des machines qui mesurent le temps, la plus grande possible : nous examinerons ici, en suivant le même plan, comment on peut rendre la force motrice constante, & quels sont les effets du ressort.

I. PROPOSITION.

1980. Si on suspend un poids très-pesant à un fil d'acier infiniment petit; que dans cet état on l'expose à une chaleur un peu forte, le fil s'alongera d'une plus grande quantité qu'il n'auroit fait, s'il n'avoit pas été chargé du poids; puisque la chaleur, en écartant les parties des matieres, affoiblit nécessairement le fil, & que la grande pesanteur du p ids aide encore à les écarter : or, si on expose ensuite ce même fil à la température où il étoit exposé avant que de le chauffer, l'action du froid ne sera pas assez grande pour rapprocher les parties de matiere du fil; ces parties n'étant pas en assez grande quantité,

& le poids y mettant obſtacle, le fil reſtera plus long, & aura moins de force qu'il n'avoit avant cette épreuve.

1981. La même choſe arrivera, ſi au lieu d'un fil & d'un poids, on ſuppoſe un reſſort que l'on tende fortement & qu'on expoſe enſuite à la chaleur; la force qui tient le reſſort tendu, fera ſur le reſſort le même effet que produit le poids ſur le fil; c'eſt-à-dire, que l'extenſion du reſſort ſera plus grande lorſqu'il eſt tendu, qu'elle n'auroit été s'il ne l'eût pas été, & que le froid n'aura pas une action ſuffiſante pour rendre au reſſort la même force qu'il avoit auparavant.

1982. Un reſſort continuellement tendu perd donc de ſa force; & la cauſe de cette perte eſt due à l'extenſion que cauſe la chaleur; car ſi le reſſort reſtoit toujours à la même température, il ne perdroit rien de ſa qualité élaſtique.

1983. Si l'on redonne un degré de tenſion au reſſort, de ſorte qu'elle ſoit de la même quantité qu'avant l'épreuve précédente, le reſſort expoſé de la même maniere, perdra encore un degré de force; & ſi on continue à le tendre à meſure qu'il perd ſa force, il perdra à la longue une partie aſſez conſidérable de ſon élaſticité.

II. PROPOSITION.

1984. SI on ſuppoſe le même reſſort dans ſon premier état, mais qu'il ſoit chargé d'un poids attaché à l'une de ſes extrémités; ſi on donne au reſſort & au poids qu'il porte un mouvement de vibration, en ſorte que le reſſort & le poids qu'il porte aille & revienne continuellement ſur lui-même par de promptes vibrations; que dans cet état on faſſe ſouffrir au reſſort un degré de chaleur, pareil à celui de l'épreuve précédente, le reſſort ne s'alongera pas d'une plus grande quantité, que s'il ne portoit pas de poids; car la réaction continuelle du reſſort ſur lui-même, empêchera l'effet du poids; & ſi on expoſe enſuite ce reſſort au froid, l'action du froid rendra au reſſort la force que lui avoit fait perdre la chaleur.

1985. Il ſuit de la premiere propoſition, que ſi on fait une montre, dont le reſſort ſoit long-temps à ſe développer,

ce ressort demeurera long-temps tendu, & éprouvera les mêmes effets que s'il n'avoit pas de mouvement ; ainsi il éprouvera dans la même situation divers changements de température qui diminueront sa force.

1986. Il suit de la deuxieme proposition, que le ressort spiral d'une montre ne doit perdre de sa force que celle du frottement des parties qui le composent ; & que si la chaleur l'alonge d'une certaine quantité, le froid le raccourcit & le remet toujours au même état, sans que l'opposition du poids de balancier y mette obstacle. Enfin il résulte de ces deux propositions, que le ressort d'une montre perdra d'autant moins de sa force, qu'il sera moins long-temps tendu, & que son mouvement approchera des vibrations du ressort spiral, & que par conséquent le ressort d'une montre que l'on remonte tous les jours, perd infiniment moins de sa force, que celui d'une montre à huit jours, à un mois, ou à un an, & qu'il en perdroit moins encore si on le remontoit plus souvent.

1987. Tous les ressorts ne perdent pas également de leur force, quoiqu'ils éprouvent les mêmes degrés de tension : cette différence dépend de la nature de la matiere du ressort, & du degré de dureté des parties qui la composent ; ainsi l'acier, dont les pores sont fins & serrés lorsqu'il est bien trempé, perd une moindre quantité de sa force ; il est vrai que plus les pores de l'acier sont serrés, & qu'il est trempé dur, plus aussi il est sujet à casser par le froid, ensorte qu'il n'est pas aisé de prendre un milieu entre ces deux extrémités, le trop de dureté, ou la trempe plus foible. La maniere de travailler les diverses sortes d'acier, de tremper les ressorts, &c, est un objet qui regarde particulierement les ouvriers qui font les ressorts ; ainsi je ne m'y arrêterai pas.

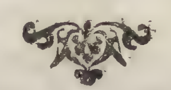
Remarque sur les Ressorts.

1988. La force d'un ressort de montre ou de pendule étant donnée, il y a deux manieres de faire le ressort ; l'une en faisant les lames épaisses & étroites, l'autre en les faisant minces & larges. Cette derniere maniere est préférable à bien

des égards ; car 1°, plus le reſſort eſt épais, plus il eſt ſujet à ſe caſſer ; 2°, plus un reſſort eſt étroit, plus le frottement des bords du reſſort contre le fond du barrillet eſt grand, tandis qu'un reſſort qui eſt large ſe déploie ſur la même ligne. On pourroit peut-être objecter que les frottements des lames l'une ſur l'autre eſt plus grand, lorſque le reſſort eſt plus large. Mais ſi l'on fait attention que le développement des lames d'un reſſort bien conditionné ſe fait ſans qu'elles ſe touchent, on verra que cette objection porte à faux. D'ailleurs, quand même il arriveroit que ces lames ſe toucheroient, le frottement n'en ſeroit pas plus grand que dans un reſſort étroit, puiſque nous le ſuppoſons de même force, & que l'étendue de ſurface n'augmente pas le frottement, abſtraction faite des huiles coagulées. Un reſſort mince & large eſt donc le meilleur dont on puiſſe faire uſage.

1989. Quant à la différente épaiſſeur d'un reſſort priſe du bout extérieur au centre, nous imaginons que le reſſort doit être affoibli par le centre, & augmenter à meſure juſqu'au bout extérieur. Au reſte l'expérience en apprend plus à un habile faiſeur de reſſort, que tous les raiſonnements que l'on peut faire là deſſus : ils ont ſoin de les affoiblir, juſqu'à ce que le développement des lames ſe faſſe ſans ſe frotter.

1990. Nous ne nous arrêterons pas non plus ici à parler du rouage d'une montre ; cet objet a été traité à l'article des roues & des engrenages, Part. II. Chap. V. Nous pourrons d'ailleurs revenir à cet article par la ſuite. Paſſons maintenant à la deſcription des montres à ſecondes, & des expériences que j'ai faites ſur les montres à vibrations lentes, & qui ſervent à confirmer ma théorie ſur l'avantage des grands balanciers légers dont les vibrations ſont promptes.



CHAPITRE XXXVI.

Deſcription d'une Montre à ſecondes, à deux battements ou vibration.

1991. DANS les montres à ſecondes que l'on a faites juſqu'ici, on a placé l'aiguille des ſecondes entre celles des minutes & des heures, diſpoſition qui m'a toujours paru défectueuſe; car 1°, l'aiguille des ſecondes eſt ſouvent expoſée à toucher à l'une ou l'autre de ces aiguilles, à cauſe du ballotage de ſon canon; & d'ailleurs l'aiguille des ſecondes eſt cachée à chaque tour par celle des minutes: 2°, le canon qui porte l'aiguille des ſecondes, roule ſur la chauſſée des minutes, ce qui cauſe un frottement aſſez conſidérable, vu ſa groſſeur & la vîteſſe de ſon mouvement: 3°, dans les montres à cylindre ce canon porte une roue qui engrene dans le pignon de la roue d'échappement, de ſorte qu'il faut néceſſairement que l'engrenage ait du jeu pour qu'il n'arrête pas la montre; & pour peu qu'il en ait, l'aiguille des ſecondes ballote tellement, qu'il n'eſt pas poſſible de diſtinguer par l'aiguille les battements du balancier, choſe aſſez néceſſaire pour obſerver. C'eſt pour parer à ces difficultés que j'ai diſpoſé la montre, dont on voit le plan dans la (*Pl. XXVII, fig.* 1, 2, 3, 4 & 5).

1992. *A*, (*fig.* 2) eſt le barrillet; *B*, la fuſée; *C*, la grande roue moyenne; (dans les montres ordinaires à ſecondes ou autres, cette roue eſt placée au centre de la montre, pour que ſa tige prolongée porte l'aiguille des minutes): la roue de fuſée a 54 dents; elle engrene dans le pignon *b* qui porte la grande roue moyenne *C*; celle-ci engrene dans le pignon *c* qui a 8 dents; ce pignon engrene non-ſeulement dans la roue *C*, mais il paſſe à travers la platine, (*fig.* 1) de maniere qu'il engrene dans la roue *G*; le pivot de ce pignon roule dans le pont *L*; ce pignon porte la petite roue moyenne

D (*fig.* 2) de 60 dents ; la petite roue moyenne engrene dans le pignon *d*, ſur lequel eſt fixée la roue *E* de 48 dents ; cette roue engrene dans le pignon *e* qui a 12 ailes ; ce pignon porte la roue d'échappement *F* de 15 dents ; chacune de ſes révolutions fait donc faire 30 vibrations au balancier ; & comme celui-ci fait deux vibrations par ſeconde, la roue *F* reſte 15 ſecondes à faire un tour : or ſon pignon fait quatre tours pour un de la roue *E*, celle-ci reſte donc une minute à faire un tour ; c'eſt le pivot prolongé de cette roue *E* vue en perſpective (*fig.* 4), qui porte l'aiguille des ſecondes ; ce pivot paſſe à travers le pont *N*, qui ſe fixe au centre de la platine (*fig.* 1) ; il ſert à porter la roue des minutes *H* (*fig.* 1), vue en perſpective (*fig.* 3).

1993. La roue *H* s'ajuſte à frottement contre la roue *G* (*fig.* 3) au moyen de la clavette *Q* ; ainſi les deux roues tournent enſemble ou ſéparément : lorſqu'on remet les aiguilles à l'heure, elles ſont placées, comme on le voit (*fig.* 1). Le canon de la roue *H* porte l'aiguille des minutes ; cette roue *G* engrene dans la roue de renvoi *I*, dont le pignon conduit la roue de cadran *O* (*fig.* 5), celle-ci porte l'aiguille des heures ; la roue *I* & ſon pont *M* ſont vus en perſpective, (*fig.* 4).

I. REMARQUE.

1994. J'ai réduit par cette diſpoſition de la montre, les frottements cauſés par l'addition des ſecondes, à la plus petite quantité, puiſque la roue des ſecondes eſt portée par le pivot de la roue *E* (*fig.* 4) ; j'ai auſſi retranché le jeu de l'aiguille des ſecondes, laquelle étant portée par une roue de l'intérieur du mouvement, ne peut avoir du ballotage, étant continuellement preſſée par le moteur. L'aiguille des ſecondes *P* vue (*fig.* 5), paſſe par deſſus toutes les aiguilles, & eſt par ce moyen plus apparente ; ſes battements ſon nets, & ſe font ſans jeu ni recul ; ils ſont très-précis, tombent exactement ſur les demi-diviſions du cadran ; cette montre eſt très-propre aux obſervations ; c'eſt la même dont nous avons rapporté les dimenſions (1964 *& ſuiv*).

II. REMARQUE.

1995. LORSQUE les ſecondes ſont concentriques au cadran, au lieu de faire porter le pivot de la roue des ſecondes par la platine, il faut le faire rouler dans un bouchon mis à force à l'extrémité du pont *N*; de cette maniere le pivot ſera plus petit, ce qui diminuera ſon frottement, lequel eſt néceſſairement augmenté par le poids de l'aiguille des ſecondes.

CHAPITRE XXXVII.

Deſcription d'une Montre à ſecondes qui va huit jours ſans remonter, dont le Régulateur eſt formé par deux Balanciers qui font un battement à chaque ſeconde. Expériences ſur cette Montre & ſur les vibrations lentes, (Pl. XXVII, fig. 6, 7, 8, 9 & 10).

1996. LA même montre eſt diſpoſée pour être à ſimple balancier, lorſqu'on le juge à propos. La fig. 6 repréſente l'intérieur du mouvement; *A* eſt le barrillet; *B*, la fuſée; la roue *C* de fuſée engrene dans le pignon *c* de la grande roue moyenne *D*; celle-ci engrene dans le pignon *d* de la roue de longue tige *E*, dont le pivot prolongé porte l'aiguille des minutes; cette roue du centre engrene dans le pignon *e*, qui porte la petite roue moyenne *F*, laquelle engrene dans le pignon *f*, qui porte la roue d'échappement *G*; celle-ci a 30 dents; & comme elle fait faire 2 fois 30 vibrations au balancier à chaque tour qu'elle fait, elle reſte une minute à faire un tour; ſon axe prolongé porte l'aiguille des ſecondes, qui marque ſur un cercle excentrique peint ſur le cadran de la montre: cette roue d'échappement eſt vue en perſpective (*fig.* 8) avec les

deux

balanciers ; elle ne fait échappement, comme on le voit, qu'avec le cylindre qui porte le balancier *B* ; l'échappement ne differe pas de celui à cylindre décrit (401 & ſuiv.) ; le mouvement du balancier *B* ſe communique à celui *A*, au moyen des petites roues *a* & *b* portées par les axes des balanciers.

1997. Les croiſées des balanciers ſont diſpoſées de maniere à faciliter l'étendue des arcs de vibrations qui peuvent être de près de 360 degrés.

1998. Le ſpiral eſt porté par le balancier *A*, comme on le voit fig. 7 : or l'échappement ſe faiſant ſur l'axe du balancier *B*; le petit jeu que demande l'engrenage de communication devient nul à cauſe de la tenſion continue du ſpiral ; le rateau qui ſert à régler la montre, eſt conduit par l'aiguille de roſette *D*, comme dans les montres ordinaires ; le reſſort *C* eſt attaché à la détente qui ſert à arrêter les balanciers, lorſqu'on veut prendre l'heure bien exactement.

1999. La fig. 9 repréſente la montre, lorſqu'on a ôté les deux balanciers, & qu'on veut y ſubſtituer le balancier ſeul ; les pieces *g*, *h* tiennent lieu de couliſſerie, de roſette & d'aiguille ; *g* eſt un pont qui preſſe l'index *h* à frottement ſur la platine ; cet index porte deux chevilles, entre leſquelles paſſe le ſpiral : ainſi en tournant la piece *h* de *m* en *k*, on fait avancer la montre, & au contraire : les pieces *g h* (*Fig.* 10) ſont vues de profil.

2000. Nous avons donné (1474 & ſuiv.) les nombres des roues d'une montre à 8 jours, & nous avons auſſi calculé les dimenſions de cette montre (1967) ; nous ne nous y arrêterons donc pas : paſſons aux expériences que je me ſuis propoſées en conſtruiſant cette montre, & donnons-en les réſultats. Voici ce qui a donné lieu à la compoſition de la montre à ſecondes à deux balanciers. M. Romilly publia en 1755 une montre, dont le balancier fait une vibration à chaque ſeconde, (voyez Encyclopédie, article frottement) : en admirant cette nouveauté, je crus qu'une telle montre ſeroit expoſée à varier par les agitations du porté. Ce fut donc pour réunir la juſteſſe, à la ſatisfaction d'avoir une aiguille qui marquât les ſecondes comme nos hor-

loges à pendules, que je construisis cette montre à deux balanciers. On sait, & il est facile de s'en convaincre par la seule inspection des figures, que telle agitation que l'on fasse éprouver à une montre à deux balanciers, ses oscillations n'en sont pas troublées : j'exécutai donc cette montre ; & si son mouvement ne fut pas plus exact que celui d'une montre ordinaire,au moins est-il certain qu'il ne fut pas plus irrégulier, surtout lorsque j'eus donné le rapport convenable du régulateur à la force motrice, rapport qui est au moins aussi essentiel dans une telle montre, que dans une autre. Dans la suite j'y adaptai un seul balancier dont le poids est égal à celui des deux autres ; il est de même diametre, porté par un cylindre qui fait échappement avec la roue *H*, & décrit les mêmes arcs que l'échappement des deux balanciers : mon but, en adaptant alternativement à la même montre un régulateur composé de deux balanciers & ensuite d'un seul, mon but, dis-je, étoit de pouvoir comparer les différents effets de ces deux dispositions par toutes sortes d'agitations, positions & températures, ce ce qui m'a servi à juger à laquelle des deux on devoit donner la préférence. Je ne rapporte ici que la plus essentielle de ces observations, celle qui est relative aux agitations du porté.

2001. Pour en venir à l'objet de cette expérience, après avoir bien reglé la montre (à vibrations lentes par un seul balancier) à repos, je la portai de diverses manieres, en lui faisant éprouver toutes sortes de mouvements, &c. Elle alla constamment bien, sans que j'aie apperçu que les agitations du porté lui ayent causé aucune variation : ainsi, quoiqu'il arrive effectivement, selon que je l'avois imaginé, que certains mouvements, chocs, &c, devoient tendre à accélérer la vîtesse d'un balancier grand & pesant qui fait des vibrationns lentes, & qu'au contraire d'autres mouvements devoient rallentir ses vibrations ; il arrive, dis-je, que la justesse de la montre n'en est pas changée ; car si un tel mouvement que la montre reçoit augmente la vîtesse du balancier, un autre mouvement tend à la faire retarder, ensorte que cela se compense, ce qui est véri-

fié par les expériences ſuivies que j'ai faites là-deſſus.

2002. Quant aux montres à deux balanciers, quoique celles que j'ai faites aillent bien; comme elles ne vont pas mieux que celles qui n'ont qu'un ſeul balancier, & que cependant la difficulté de les exécuter eſt infiniment plus grande; il eſt bon d'annoncer ici que c'eſt ſe forger des difficultés en pure perte, & qu'un tel méchaniſme eſt abſolument inutile.

2003. Il n'en eſt pas tout-à-fait de même des montres à vibrations lentes, c'eſt-à-dire, qui font un battement par ſeconde; ſi elles ne vont pas mieux du chaud au froid, que les montres ordinaires, ainſi que nous allons le faire voir, elles ont cela de ſatisfaiſant, d'être commodes pour obſerver. Il eſt d'ailleurs bon de remarquer que ces ſortes de montres exigent de très-grands ſoins pour être exécutées, & que ſi elles demandent une moindre force motrice, comme le balancier a peu de force, l'inégalité de la force motrice ou des frottements cauſera des écarts plus grands qu'aux montres ordinaires à vibrations promptes & balancier léger.

2004. Les montres à vibrations lentes ſont plus ſujettes au battement du balancier; c'eſt par cette raiſon qu'il eſt à propos de ne les employer qu'avec des échappemens à cylindre; la levée de cet échappement étant communément de 45 degrés, & l'arc de vibration de 180. Il peut cependant décrire encore 180 degrés: de cette maniere, ſi la montre reçoit une ſecouſſe, ſon effet ſe bornera à faire parcourir un plus grand arc au balancier, ſans changer ſenſiblement la durée de la vibration; au lieu que ſi on employoit les vibrations lentes, & un balancier peſant avec l'échappement à roue de rencontre, la moindre ſecouſſe cauſeroit des battements qui dérangeroient néceſſairement la juſteſſe de la montre.

2005. Enfin, ſi les montres à vibrations lentes ſont ſatisfaiſantes, je dois dire qu'elles ne ſont pas ſuſceptibles de la même juſteſſe que le feroit une montre qui, faite d'après les principes que j'ai établis, auroit un grand balancier léger, feroit des vibrations promptes, & auroit par ce moyen moins de frottement & plus de force de mouvement.

Expériences du 12 Janvier 1760.

2006. J'AI porté pendant 12 heures dans mon gouſſet la montre à ſecondes qui va 8 jours; elle étoit reglée: je l'ai enſuite fait marcher 12 heures au froid de la glace; alors elle a retardé d'une minute : cependant les arcs parcourus par le balancier ne ſont que de la grandeur requiſe; car ſi je les faiſois plus petits, la montre arrêteroit au doigt, ce qui prouve que les frottements ſont plus grands relativement dans cette montre, & que le froid agit avec plus d'effet. J'ai comparé & fait ſubir la même épreuve à la montre à demi-ſecondes : le froid l'a fait avancer d'une minute ; elle décrit cependant de plus grands arcs : ainſi en diminuant du poids du balancier, les effets du froid ſont nuls pendant le grand froid. Lorſque la montre à ſecondes à huit jours étoit expoſée au froid de deux degrés au-deſſous de la glace, elle retardoit de 3 minutes par nuit; & lorſque le froid a diminué, la montre a été réglée : je n'ai pas voulu toucher au ſpiral pendant le froid, afin de mieux juger de ces écarts.

2007. Je fis il y a un an une montre à 8 jours ſur les principes de celle que je viens de décrire; les ſecondes ſont d'un ſeul battement, c'eſt-à-dire, qu'elle fait 3600 vibrations par heure. Pour vérifier mes principes ſur les effets du chaud & du froid ſur les montres, & du rapport du régulateur à la force motrice, je fis le reſſort plus fort qu'il ne falloit, tellement que le balancier décrivoit de fort grands arcs, & que la montre varioit conſidérablement, c'eſt-à-dire, que le froid la faiſoit beaucoup retarder: je fis diminuer le reſſort, & réduiſis les arcs de vibrations à 180 degrés; alors elle étoit a peu près réglée du chaud au froid; elle retardoit encore par le froid, mais beaucoup moins. Lorſque la température fût revenue à 10 degrés au-deſſus de la glace, la montre avança de 2 minutes en 24 heures; j'ai toujours laiſſé l'aiguille du ſpiral au même point, ces changements ne ſont cauſés que par la différence de la fluidité de l'huile qui eſt aſſez mobile à 10 degrés au-deſſus de la

glace, & fort solide à la glace, & à 4 degrés au-dessus. J'ai fait diminuer la force motrice de cette montre, ensorte que l'arc de vibration ne surpassoit que peu celui de levée ; dans cet état, étant portée 12 heures dans le gousset, & réglée à cette température, exposée pendant 12 heures à la glace, elle a retardé d'une minute : or, on ne peut diminuer la force motrice sans exposer la montre à arrêter au doigt; on ne pourroit donc corriger ces défauts qu'en faisant des pivots de balancier beaucoup plus petits, le poids du balancier restant le même; mais ces balanciers pesants seroient sujets à faire casser les pivots par les moindres secousses.

CHAPITRE XXXVIII.

Recherches & expériences, concernant les Horloges astronomiques.

2008. LES détails dans lesquels je suis entré ci-devant sur les verges de pendule, & les recherches que j'ai faites ont eu pour objet de parvenir à construire une Horloge astronomique la plus parfaite qu'il m'a été possible. Tel étoit le but que je me proposai lorsque je construisis l'Horloge astronomique décrite chap. XXIV, Part. II; mais l'étude particuliere que j'ai faite depuis, les recherches & expériences dont j'ai rendu compte ci-devant, m'ayant conduit à des moyens de perfection que j'ignorois lorsque j'exécutai cette premiere Horloge, m'ont déterminé à mettre à exécution ceux que j'ai établis, afin de vérifier ces principes par l'expérience, & de les fixer d'une maniere solide & qui différe des sistêmes ou simples spéculations ; car il ne suffit pas dans les machines de poser une simple théorie, en ne faisant point attention aux différents effets des corps & au dérangement qu'ils causent dans les principes ; il faut, au contraire, continuellement y faire entrer la physique & l'expé-

rience, ſeul moyen de les rendre ſolides : ces principes doivent être immuables comme ceux de la géométrie ; mais il faut les conſidérer ſous toutes leurs faces, en y faiſant entrer toutes les circonſtances néceſſaires. Telle eſt la marche que j'ai eſſayé de ſuivre dans l'Horloge aſtronomique du ſuccès de laquelle je vais rendre compte.

2009. Comme le pendule & la ſuſpenſion font la principale partie de cette machine, j'entrerai dans quelques-uns des détails qu'ils ont entraînés, & dans les expériences réitérées que j'ai été forcé de faire, pour parvenir le plus près du but qu'il m'a été poſſible.

2010. Le pendule eſt le même que j'ai décrit chapitre XXIII, (1761) : il eſt repréſenté (*Pl. XXIII, fig. 12*). Je rendrai compte des changements que j'y ai faits en l'exécutant ; & ſi on trouve que ces détails que j'abrege ſoient encore longs, on pourra juger combien les opérations mêmes doivent l'être, lorſqu'on a en vue l'extrême perfection.

2011. Le pendule étant exécuté & conſtruit à peu près tel que je l'ai décrit (1761), & qu'il eſt repréſenté (*Pl. XXIII, fig. 12*) ; pour en faire épreuve, je le mis tout monté avec ſa lentille dans 30 livres de glace pilée : lorſqu'il en eut pris la température, je le plaçai ſur le pyrometre ; la lentille portoit à ſon centre une piece coudée qui alloit appuyer ſur le rateau du pyrometre : je plaçai de même un thermometre dans la glace, afin qu'il éprouvât les mêmes changements que le pendule.

I. Expérience.

2012. Le pendule appliqué ſur le pyrometre.

Thermometre.	0	Aiguille du Pyr.	0	
	15		0	
	19		1	deg.
Mis l'Etuve	25		2	
	32		6	
	35		9	
	40		15	

2013. Le pendule ayant été mis à la glace, éprouvant ensuite 40 degrés de chaleur, il s'est raccourci de lig. 0 $\frac{15}{360}$, d'où l'on voit que la compensation est trop forte, puisqu'au lieu de s'alonger, il s'est accourci par la chaleur. Cette expérience confirme donc la bonté de celles que j'ai faites sur les métaux; car j'avois fait la verge plus longue que ne le donnoit le calcul, (1767); ainsi l'excès d'alongement du cuivre sur l'acier est trop grand, ce qui fait trop remonter la lentille. Je réduisis donc les chassis & verges au rapport que j'avois trouvé par le calcul; je remis le pendule dans la glace, & ensuite sur le pyrometre: voici ce que je remarquai.

II. EXPÉRIENCE.

2014. Th. à	0	Pyr.	0	chaud.
	10		5	

Mis l'Etuve & des Mottes.

Thermometre. à	21	Pyrometre.	5	chaud.
	25		5	
	30		5	
	40		5	
	23		5	du froid.

Remarque sur cette expérience.

2015. Un moment après que le pendule tiré de la glace a été placé sur le pyrometre, la chaleur l'a fait alonger de lig. 0 $\frac{5}{360}$, & il est resté constamment au même point, pendant que la chaleur de l'étuve échauffant la verge, faisoit monter le thermometre; mais comme la lentille ayant une grande masse, exige plus de temps pour être pénétrée de la chaleur, il arrive qu'elle se dilate long-temps après les verges; ainsi les parties de la verge de compensation qui sont dans la lentille, ne se dilatent que lorsque la lentille est échauffée, & c'est alors que le pendule s'est accourci de lig. 0 $\frac{5}{360}$: or on ne peut

attribuer ce raccourcissement du pendule qu'à la dilatation de la lentille, laquelle étant remplie de plomb, son centre se remonte plus, que la partie de la verge d'acier qui la porte ne s'est alongée, & dans le rapport de 193 à 74; (Voyez la Table des Dilatations), (1696): c'est donc à cette seule cause que l'on doit attribuer le petit écart du pendule. J'imaginai deux moyens de corriger cet écart: 1°, en suspendant la lentille par son centre, comme on le voit (*Pl. XXVIII, fig. 1*); 2°, en remontant les verges intérieures du grand chassis du pendule, de sorte que toutes les parties qui servent à la compensation soient hors de la lentille, & par conséquent exposées dans l'instant à la même température: le pendule ainsi corrigé, je le mis dans 30 livres de glace, & ensuite sur le pyrometre.

III. EXPÉRIENCE (*a*).

2016. Th. à	0	Pyr.	0	chaud.
	10		1	
	12		1	

Mis l'Etuve & des Mottes.

Th. à	14	Pyr.	1	chaud.
	18		$1\frac{1}{2}$	
	21		2	
	26		3	
	31		3	
	35		3	
	36		3	

2017. Voilà donc enfin mon pendule amené au point de perfection,

(*a*) Une chose singuliere que j'ai observée en faisant cette expérience, c'est qu'à mesure que la chaleur de l'étuve augmentoit un peu sensiblement, l'aiguille du pyrometre alloit & revenoit alternativement sur elle-même en faisant des vibrations d'un demi-degré, & restant cependant toujours dans le même degré; ce qui est produit par l'action de la chaleur sur les verges d'acier & de cuivre: celles d'acier tendent à alonger le pendule, & celles de cuivre à le raccourcir: or la différence des pores de ces deux métaux les rend différemment pénétrables par le chaud & le froid, qui n'agit pas également dans le même instant sur l'un & l'autre métal.

perfection que je lui souhaitai ; il ne s'allonge que de lig. 0 $\frac{3}{360}$ en sortant de la glace, & éprouvant 35 degrés de chaleur ; & en ôtant l'étuve, il revient ensuite à sa premiere longueur.

2018. Cette variation si petite est produite par un peu d'affaissement causé par la lentille; ainsi en la tenant un peu plus légere, les verges de compensation plus fortes & d'un pouce plus longues, on diminuera encore cet écart, qui d'ailleurs est beaucoup plus petit qu'on n'auroit osé l'espérer.

2019. Je suis parvenu à cette extrême précision par les moyens suivants : 1°, en supprimant le levier que l'on employoit ci-devant, & ajoutant en verges la longueur requise pour la compensation; par-là j'ai diminué la pression de la lentille, puisque chaque verge correspondante ne supporte que la moitié de son poids : 2°, par le moyen du chassis & des verges correspondantes, le poids de la lentille agit perpendiculairement sur chaque verge de cuivre correspondante, & la pression des verges sur les chassis ne peut ni les écarter ni les faire fléchir : 3°, le poids de la lentille est proportionné à la solidité des verges, de maniere que celles-ci ne peuvent être affaissées par son poids : 4°, toutes les verges sont de même grosseur, & présentent à l'air une égale surface, de sorte que les changements de température se communiquent à toutes dans le même temps : 5°, toutes les parties de la verge qui servent à la compensation sont situées hors de la lentille, & sont pénétrées dans le même temps par les changements qui arrivent dans l'air : 6°, la lentille étant suspendue par son centre peut se dilater en tout sens, sans changer la longueur du pendule.

2020. Les dimensions de ce pendule sont dans le rapport donné par le calcul fait d'après mes expériences sur les dilatations des métaux : or ce pendule ne s'étant alongé que de lig. 0 $\frac{3}{360}$ par l'épreuve non équivoque qu'il a subie ; on voit que ces expériences sont exactes, & que les rapports de dilatation trouvés sont justes.

2021. On voit encore par les détails dans lesquels je viens d'entrer, que le pyrometre n'a pas seulement servi à faire des

expériences ſur les dilatations des différents métaux ; mais que ſon uſage le plus eſſentiel a ſervi à vérifier mes tentatives, afin de parvenir à compoſer un pendule dont les centres d'oſcillation & de ſuſpenſion ne changent pas de longueur : j'obſerverai de plus, qu'un tel pyrometre eſt l'unique moyen propre à juger du point de perfection où l'on eſt parvenu; car on aura beau dire que l'on a conſtruit un pendule qui ne change pas de longueur, toute autre preuve que celle-ci eſt équivoque. On aura comparé, par exemple, une horloge aſtronomique pendant quelques jours avec le paſſage des étoiles ; elle pourra avoir été juſte, ſans que cela prouve rien pour la bonté de la machine ; car, 1°, comme l'air change du matin au ſoir, il peut très-bien arriver que l'horloge avance & retarde alternativement, & ſe compenſe au bout de 24 heures : 2°, la juſteſſe d'une horloge ne dépend pas uniquement de la longueur du pendule ; car elle dépend de plus de l'étendue conſtante des arcs, de la nature de l'échappement, des frottements, des huiles ; ainſi il peut très-bien arriver qu'une telle machine marche juſte pendant quelques jours, quoique le pendule change de longueur : 3°, une horloge pourroit avoir été éprouvée du froid au chaud, & n'avoir pas paru faire d'écarts, mais dans la ſuite en faire de conſidérables pendant le froid ; telle ſeroit celle dont la lentille ſeroit aſſez peſante pour affaiſſer la verge du pendule, la compenſation ſe feroit pendant que la verge eſt échauffée ; mais venant à ſe refroidir, elle ne pourroit plus remonter la lentille, enſorte que le pendule reſteroit plus long : on pourroit donc croire, après avoir examiné une telle horloge du froid au chaud ſeulement, que le pendule a compenſé les écarts, tandis qu'en continuant l'expérience en reprenant par le froid, l'horloge retarderoit : c'eſt ce qui ſeroit arrivé aux pendules de Rivaz, ſi on les eût ainſi examinées : (Voyez 1733 & 1734).

2022. Pour donc examiner cet objet avec ordre, & ne point attribuer à une horloge une juſteſſe qui pourroit n'être que la ſuite des défauts qui ſe compenſeroient, il eſt très-eſſentiel de vérifier le pendule ſéparément, & ainſi des autres parties de la machine : cet examen ainſi fait, c'eſt alors que

l'Aſtronome peut en vérifier ſa marche, & que ſi elle varie, on ſera forcé de recourir à de nouvelles cauſes qui n'avoient pas encore été apperçues.

De la ſuſpenſion du Pendule.

2023. Après être parvenus avec ſuccès à la compoſition d'un pendule qui corrige l'effet de la dilatation & contraction de la verge, j'ai cherché à ſuſpendre ce pendule, de maniere que ſes oſcillations ſe conſervaſſent le plus long-temps qu'il eſt poſſible. J'entrerai ici dans quelques détails de conſtruction que la ſuſpenſion de ce pendule exige; je ne les crois pas déplacés, puiſque la perfection de la ſuſpenſion eſt eſſentielle pour conſerver l'Iſochroniſme des vibrations; je vais donc rendre compte des corrections que j'ai faites.

2024. 1°, Le mouvement que fait le couteau ſur ſon appui, eſt le développement de la petite portion du cercle qui en termine l'angle: or ce développement fait mouvoir l'axe du pendule parallelement à lui-même; enſorte que ſi la gouttiere ſur laquelle ſe meut le couteau, eſt formée par la portion d'un petit cercle, il faudra, ou que le développement du couteau faſſe élever le pendule à chaque oſcillation, ou que ce roulement ſe faſſe comme un pivot qui tourne dans un trou: pour éviter ces défauts, il faut, ou que ce couteau ſe meuve ſur un plan, ou que la gouttiere ſoit formée par un grand cylindre qui ait au moins 6 lignes de diametre; ainſi la petite partie de cette rainure, ſur laquelle ſe meut le couteau, différera peu d'une ligne droite; par ce moyen on aura le même avantage qu'avec un plan, ſans avoir les difficultés qu'il entraîne.

2025. 2°. Ayant obſervé que quelques ſoins que l'on applique à l'exécution d'une ſuſpenſion, il eſt preſque impoſſible de faire que le couteau porte ſur plus de deux points, il arrive que chacun de ces points ſupportant la moitié de la peſanteur du pendule, ils s'affaiſſent & ſe briſent; pour parer à cette difficulté, voici ce que j'ai imaginé: au lieu de faire la gouttiere ſur le ſupport (*Pl. XXVIII*, *fig.* 4) j'ai fait une entaille dans

laquelle j'ai ajuſté deux pieces d'acier *a*, *b*, mobiles ſelon *a b*; (*fig.* 2) & formant deux petits leviers terminés en angle pour recevoir la gouttiere portée par la verge du pendule, enſorte que toute la peſanteur du pendule ſera portée par ces deux leviers; & comme ils ſont mobiles ſelon leurs longueurs, ils auront chacun au moins deux points qui ſupporteront la maſſe du pendule, c'eſt-à-dire que le poids de celui-ci ſera ſupporté par 4 points au lieu de 2, & que par conſéquent l'effet de l'affaiſſement de la ſuſpenſion ſera réduit à la moitié.

2026. 3°, J'ai formé la gouttiere ſur la traverſe (*fig.* 6) attachée à la fourchette *K*, qui porte le pendule; par ce moyen elle eſt renverſée, enſorte que la pouſſiere ne peut s'y arrêter.

2027. 4°. J'ai placé à travers la piece ou porte-gouttiere (*fig.* 1) une vis *Z*, qui ſert à élever le pendule pour l'éloigner des couteaux, enſorte qu'en le laiſſant redeſcendre doucement, la fourchette *K* ne peut toucher ni de côté ni d'autre au ſupport *I*: cette vis eſt encore utile pour écarter la gouttiere des couteaux, lorſqu'on veut tranſporter le pendule tout monté; alors on éleve le pendule au moyen de la vis *Z*; & pour contenir la lentille, il ne faut que l'arrêter entre deux morceaux de bois creuſés que l'on fixe à la boîte avec quatre fortes vis.

2028. 5°. J'ai fait ces pieces de ſuſpenſion les plus petites qu'il eſt poſſible, afin qu'elles ſe trempent mieux, ce qui doit être, puiſqu'ayant plus de ſurface & moins de ſolidité, elles ſeront plus facilement pénétrées, & par les ingrédients qui ſervent à la trempe, & par le froid de l'eau; outre que ces pieces étant petites, ſont de meilleur acier.

2029. Enfin, je finis ce qui regarde la ſuſpenſion, en faiſant obſerver qu'il eſt très-eſſentiel de la fixer très-ſolidement contre le mur avec la boîte, ſans quoi les oſcillations du pendule agiroient ſur la boîte, & celle-ci ne reſtituant pas au pendule le même mouvement, cela diminueroit les vibrations du pendule: paſſons maintenant à la deſcription de l'Horloge.



CHAPITRE XXXIX.

Description de l'Horloge Astronomique.

(*PLANCHE XXVIII*, fig. 1).

2030. *A, B, C, D* est une planche très-forte, qui sert à fixer très-solidement le pendule contre le mur; elle porte la cage de cuivre *E, F, G*, dont les pivots prolongés des vis *H* contiennent le support *I*, qui porte le pendule; ce support tourne sur les vis *H*, pour laisser au pendule la liberté de prendre son aplomb.

2031. La fourchette *K* porte fixement la traverse 2, 3, (*fig.* 6), sur la longueur de laquelle est formée la gouttiere qui doit appuyer sur les deux couteaux mobiles du support *I*: ce support est vu (*fig.* 2), portant les couteaux *a*, *b* vus en perspective (*fig.* 3); il est encore vu (*fig.* 4), avec l'entaille dans laquelle se logent les couteaux (*fig* 3); 1, 2, 3, 4 sont les vis qui arrêtent les couteaux sur le support, en leur laissant seulement un petit mouvement sur le milieu de leur longueur, & tel que l'appui de la gouttiere les oblige à s'appliquer par leurs extrémités; c'est pour cet effet que le dessous *c* des couteaux est arrondi, & qu'ils ne touchent au support que par le milieu.

2032. La cinquieme figure représente la fourchette *K*, portant la traverse ou gouttiere, vue séparément (*fig.* 6) avec la vis *Z* qui sert à élever le pendule: pour cet effet, lorsqu'on fait tourner la vis *Z*, on fait descendre sa pointe, laquelle va poser sur le fond du trou conique fait à la broche *A* (*fig.* 4); or cette broche est fixée après le support: ainsi en tournant la vis, on fait monter ou descendre la fourchette *K*, & par conséquent le pendule.

2033. La fourchette *K* (*fig.* 1) est fixée par une forte

cheville avec le chaſſis d'acier, *a b c d*; le bout *c d*, qui entre juſte dans la lentille, ſert uniquement à l'empêcher de vaciller; *e f* eſt une traverſe ſur laquelle poſent les verges correſpondantes de cuivre *g h*, *i l*; les bouts ſupérieurs de ces verges agiſſent ſur le levier mobile en *m* (*) entre deux plaques qui ſont fixées ſur le ſecond chaſſis d'acier *n o p q*; ſur le bout inférieur de ce chaſſis poſent les bouts des verges de cuivre correſpondantes *r s*, *t u*, dont les bouts ſupérieurs portent enfin le levier mobile en *x*, par une cheville qui traverſe ce levier & la verge d'acier *x y*; l'extrémité inférieure de cette verge paſſe à travers les mortaiſes faites au ſecond chaſſis & à la traverſe *e f* du premier; ce bout prolongé eſt taraudé, & paſſe à travers le trou *N* de la chape *M N*; un écrou taraudé qui entre ſur cette vis, retient la chape *M N* avec la verge *y x*; & comme cette chape vue de profil (*fig.* 7) embraſſe la lentille, & la retient par ſon centre au moyen de la vis *O*, on voit que la lentille eſt ſoutenue par la verge *y x*, & par conſéquent par le reſte du pendule, dont chaque verge en ſoutient une partie, & dont tout l'effort ſe réunit à la ſuſpenſion.

2034. Les leviers mobiles en *x* & en *m* ſervent à diviſer également la preſſion de la lentille ſur chaque verge de cuivre correſpondante *g h*, *i l*, & *r s*, *t u*; ces leviers tiennent donc lieu des talons des verges d'acier qu'on voit (*Pl. XXIII*, *fig.* 12).

2035. *A* (*fig.* 8) repréſente l'écrou qui ſoutient la lentille par le deſſous de la chape; *B* eſt un *contre-écrou* pour fixer invariablement la longueur du pendule; ils ſe logent l'un & l'autre dans l'épaiſſeur d'une entaille faite à la lentille, comme on le voit (*fig.* 1).

2036. (*Fig.* 9) eſt un petit cylindre ou index qui entre dans le trou du canon P. (*fig.* 1); il peut monter & deſcendre dans ce canon, afin que ſoit que l'on regle l'Horloge ſur les étoiles fixes ou avec le ſoleil, l'index approche également du

(*) On a vu (1766) l'uſage de ce levier; c'eſt de diviſer l'action de la lentille également ſur les verges correſpondantes; ainſi il ne faut pas confondre l'effet de ce levier avec celui de compenſation que j'ai ſupprimé.

limbe *Q*, pour marquer les degrés parcourus par le pendule : *O* eſt une vis qui ſert à fixer l'index avec le canon *P*.

2037. Les parties *R* & *S* de la cage *E*, *F*, *G*, ſervent à recevoir la cage du mouvement, laquelle s'arrête avec cette premiere cage, au moyen de deux vis qui paſſent à travers les trous 4, 5, & entrent dans les trous taraudés des piliers du mouvement : on peut par ce moyen ôter ce mouvement ſans déranger le pendule.

2038. *V*, *X*, *Y* ſont des *brides* qui ſervent à contenir les verges du pendule : ces brides ſont de cuivre plié, & elles ſont arrêtées par des vis à portée par un des bouts ; ces vis paſſent dans de petites entailles faites au chaſſis pour les retenir ; les autres bouts des brides portent de petites vis, dont la pointe entre de l'autre côté du chaſſis pour empêcher la bride de deſcendre & de gêner les verges, défaut qu'il eſt eſſentiel d'éviter ; car la compenſation ne pourroit ſe faire ſi ces verges ne pouvoient monter & deſcendre librement dans le grand chaſſis.

Deſcription du Mouvement, (Pl. XXIX).

2039. La fig. 1 repréſente le cadran de l'Horloge avec l'aiguille des ſecondes ; l'aiguille des minutes marque ſur un cercle gradué en 60 parties ; ce cercle eſt commun aux minutes & aux ſecondes. Les heures ſont marquées à travers l'ouverture faite au cadran ; elles ſont gravées ſur un cercle *D* (*fig.* 3) qui eſt porté par la roue de cadran *C*. J'ai diſpoſé le cadran de cette maniere pour qu'il fût plus net, & que l'on remarquât aiſément le mouvement de l'aiguille des ſecondes ; car les heures gravées ſur les cadrans les rendent ſi noirs, qu'on a peine à voir l'aiguille des ſecondes & des minutes, dont les Aſtronomes ont cependant le plus à faire.

2040. *I i* (*fig.* 5) eſt l'ancre d'échappement que j'ai tenu plus court, afin de diminuer la traînée du repos, & pour avoir de plus grands arcs de levée : c'eſt exactement l'oppoſé de ce qu'on a fait ci-devant, ſéduit par la ſimple théorie, & par l'exemple de M. Rivaz : Voyez les défauts que les petits arcs

& les lentilles pesantes entraînent, aux numéros 1624, 1733 & 1734. Les arcs de vibrations décrits par ce pendule, sont de deux degrés.

2041. La fig. 2 représente le dehors de la platine des piliers, avec les roues de cadratures pareilles à celles décrites Part. I, Chap. III.

2042. *A B* est une détente fixée sur la tige du pied de biche; la partie *B* de cette détente sert à recouvrir le trou du remontoir, afin qu'on ne puisse remonter l'Horloge sans avoir déplacé la détente, & par conséquent sans faire agir le pied de biche *H* (*fig.* 5) sur la roue *c* du mouvement, pour entretenir les vibrations du pendule & du rouage pendant qu'on remonte le poids.

2043. *a*, *b*, *c*, *d*, *e* (*fig.* 5) sont les roues du mouvement de l'Horloge; *a*, celle qui porte le poids moteur; *e*, la roue d'échappement, &c.

2044. *M N* (*fig.* 4) est le coq d'échappement de l'Horloge; *O*, *P*, la fourchette, dont le bout *P* porte la tige qui communique avec le pendule, & lui transmet la force du rouage; cette tige se meut avec une vis de rappel pour mettre la machine dans son échappement: j'ai décrit cette fourchette, (78).

2045. J'ai ajouté à cette Horloge la sonnerie des secondes que j'imaginai pour joindre à l'Horloge astronomique décrite Part. II, Chap. XXIV: je l'ai faite graver de nouveau, parce qu'elle est ici disposée plus avantageusement.

Description de la Sonnerie des Secondes.

2046. Cette sonnerie est composée d'un rouage particulier, dont la premiere roue porte 60 chevilles qui servent à élever un petit marteau qui frappe très-exactement les secondes ou vibrations du pendule; pour cet effet, cette premiere roue est entraînée par un petit poids qui est seulement capable d'élever le marteau; l'intervalle des coups de marteau est réglé par un petit ancre porté par l'axe d'échappement de l'Horloge; cet

cet ancre fait échappement avec la seconde roue de sonnerie, & de maniere qu'à chaque battement du pendule, une cheville de la premiere roue de sonnerie éleve & fait frapper un coup au marteau : voilà le précis des effets ; mais pour les rendre sûrs & faire sonner cette machine à volonté, il a fallu ajouter plusieurs détentes, dont nous allons expliquer l'usage.

2047. *A*, (*fig.* 5) est la roue de sonnerie vue de profil (*fig.* 6) : cette roue est mobile sur l'axe du cylindre sur lequel s'enveloppent deux cordes en sens opposés ; l'une *a* porte le petit poids qui fait mouvoir le rouage & le marteau ; & l'autre *b* est un cordon qui sert à remonter le poids : cette roue *A* porte un encliquetage semblable à celui d'une roue de cheville de répétition ; cette roue a 90 dents ; elle engrene dans un pignon de 6, sur l'axe duquel est rivée la roue B (*fig.* 5) ; celle-ci porte deux chevilles diamétralement opposées, & qui font échappement avec l'ancre *D* fixé sur l'axe *i* de l'échappement de l'Horloge ; cet ancre *D* est formé par deux portions de cercle, l'une extérieure sur laquelle est actuellement arrêtée la cheville, & l'autre intérieure sur laquelle cette cheville, en s'échappant, ira poser : cet effet suspend à chaque vibration le mouvement de la roue *B*, & par conséquent de la roue *A* & du marteau, ce qui regle l'intervalle entre les coups de marteau, qui se font par ce moyen exactement au même instant que les vibrations du pendule, & les battements de l'aiguille des secondes.

2048. La roue *A* porte, comme je l'ai dit, 60 chevilles : elles servent à élever le marteau *S*, par le moyen de la levée *F*, fixée sur l'axe du marteau ; le bout le plus court *F* de cette levée, est la partie qui sert à élever le marteau, & le bout *f* vient s'engager entre les chevilles à chaque fois que le marteau retombe : cet effet sert à empêcher qu'en remontant le poids, le frottement de l'encliquetage ne puisse faire rétrograder la roue *A*, & que par conséquent les chevilles de la roue *B* ne puissent se présenter au bras de l'ancre *D*, lequel arcboutant contre ces chevilles, dérangeroit le mouvement du pendule.

2049. L'axe du cylindre ou premiere roue *A*, passe à travers la platine (*fig.* 4), & porte quarrément une petite palette

g, qui ſert en même-temps à régler le nombre de tours dont on peut remonter le poids, & à arrêter le rouage lorſque le poids eſt deſcendu, & de maniere que les chevilles de la roue *B* s'arrêteront toujours au même point dans une poſition éloignée du bras de l'ancre *D*, pour éviter que celui-ci ne puiſſe arcbouter contre les chevilles de la roue *B* : nous allons expliquer ces différents effets.

2050. Lorſqu'on tire le cordon pour remonter le poids, chaque tour qu'il fait faire au cylindre, la palette qu'il porte fait avancer une dent de la roue *C*, (*fig.* 4), & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que la palette ne rencontrant plus de dents, s'arrête ſur la crconférence non dentée de la roue, & arrête l'effort de la main : voilà ce qui regle les tours dont on peut faire remonter le poids.

2051. Pour remonter le poids, il faut ſe ſervir de l'anneau ſuſpendu à la poulie *D*; mais en tirant cet anneau, l'action de la main agiſſant également ſur les deux bouts du cordon *b b*, dont l'un eſt enveloppé ſur le cylindre, & l'autre attaché à la détente *E*, cette détente deſcendra avant que l'autre partie de la corde ait fait rétrograder le cylindre, (parce qu'elle oppoſe moins de réſiſtance que le cylindre); & comme cette détente eſt fixée ſur l'axe de la détente *G*, mobile dans la cage, celle-ci deſcendra en même-temps : or la partie *G* porte une entaille qui vient arrêter une cheville placée derriere la roue *B*, enſorte que la roue reſte immobile ; & que pendant qu'on remonte le poids, les chevilles d'échappement ne peuvent changer de place, & par conſéquent s'oppoſer au mouvement de l'ancre.

2052. Maintenant ſi on veut faire ſonner les ſecondes, on tirera le cordon *H* attaché à l'extrémité *F* du levier *E F*, mobile en *f*, ce qui dégagera la détente *G* qui arrêtoit la roue d'échappement *B* ; ainſi le marteau frappera les ſecondes juſqu'à ce que la palette *g* ait fait tourner la roue *C*, de maniere que celle-ci préſente l'intervalle *d* à la détente *I*, laquelle entrant dans cet intervalle, fera monter le bout oppoſé *L*, qui viendra ſe préſenter pour arrêter une des chevilles d'échappe-

ment de la roue *B*, & par conſéquent la ſonnerie ; ainſi les chevilles d'échappement ſeront hors d'état de pouvoir nuire au mouvement du pendule en ſe préſentant à l'ancre.

2053. Il y a deux chevilles placées ſur le derriere de la roue *B*, afin que ſelon que l'une ou l'autre cheville d'échappement eſt arrêtée par la détente *L*, quand le poids eſt au bas, il y ait une cheville derriere la roue *B*, qui puiſſe être arrêtée par l'entaille de la détente *G*, laquelle s'abbaiſſe, comme nous avons dit, quand on remonte le poids.

2054. Lorſqu'on remonte le poids de ſonnerie, la palette *g* fait rétrograder la roue *C*, laquelle éloigne la détente *I*; enſorte que la roue d'échappement pourroit tourner, ſi, comme nous l'avons dit, le premier effet de la main ſur l'anneau, n'étoit pas de faire deſcendre la détente *G*, & d'arrêter la roue *B*, avant que le cordon ait pu faire tourner le cylindre.

2055. Le jeu de la détente *E F* eſt réglé par deux chevilles fixées ſur la platine ; le bout *F* de cette détente appuie légérement ſur la platine, afin de produire un frottement qui arrête la détente aux points où on la conduit, en tirant le cordon *H*, ou l'anneau de la poulie *D*.

2056. Le reſſort *K*, ſert à faire appuyer la détente *I* contre la roue *C*; *M*, eſt un reſſort à fautoir qui contient la roue *C*.

2057. *Q*, eſt le poids ou moteur de la ſonnerie; *R*, le timbre ſur lequel frappe le marteau *S*.

CHAPITRE XL.

De l'utilité de l'Horlogerie pour la Marine, & pour découvrir les Longitudes en Mer.

2058. J'AI traité ci-devant de l'Horlogerie, relativement à l'uſage civil & à l'Aſtronomie ; il me reſte un objet plus intéreſſant, c'eſt de l'appliquer à la navigation : mais avant d'en-

trer dans le détail des principes que j'ai établis ſur cette partie de la meſure du temps, il eſt à propos de parler de l'uſage des Horloges en mer, ſoit pour conſerver l'heure des obſervations, ou pour déterminer la longitude du lieu où l'on eſt. Pour cet effet, nous allons donner une notion des longitudes : je ne fais que tranſcrire l'explication que donne M. Bouguer des latitudes & longitudes, & leur utilité en mer, dans ſon Traité de Navigation, pag. 63 & ſuiv.

2059. Il eſt facile de concevoir, dit ce célebre Auteur, qu'un Obſervateur ne peut pas faire un pas ſur la ſurface de la terre (*), ſans qu'il apperçoive quelques différences dans l'apparence du ciel : c'eſt ce qui vient de la rondeur de la terre, & de ce que chacun de ſes points jouit, pour ainſi dire, d'un ciel différent. On nomme *Latitude* d'un lieu, ſa diſtance à l'équateur, ou la quantité dont il eſt avancé dans la partie du nord, ou dans la partie du ſud ; cette diſtance ſe meſure ſur la ſurface du globe par le plus court chemin, & par conſéquent ſur le méridien qui paſſe par le lieu, & qui eſt toujours perpendiculaire à l'équateur : ſi le lieu eſt ſur l'équateur, il n'a point de latitude ; & ſi au contraire on pouvoit aller juſqu'au pole, on auroit 90 degrés, & la plus grande de toutes les latitudes. Tous les lieux qui ſont ſur un même parallele, ont exactement la même, parce qu'ils ſont également éloignés de l'équateur : on diſtingue les latitudes en ſeptentionale & méridionale, ou en nord & ſud, ſelon que le lieu dont il s'agit eſt dans la partie du nord ou dans la partie du ſud, dans un hémiſphere ou dans l'autre.

2060. Nous avons des moyens pour déterminer notre

(*) La *Planche XXXIII* (*fig.* 10), repréſente le globe de la terre : on appelle *pole*, les deux points N & *S*, ſur leſquels elle paroît tourner comme ſur deux pivots ; *N*, eſt le pole du nord ; & *S*, celui du ſud ; ils ſont éloignés l'un de l'autre de 180 degrés, ou de la moitié de la circonférence de la terre ; l'endroit du plus grand mouvement de la terre ſe nomme *l'équateur* ; il eſt repréſenté par le cercle *E*, *A*, *Q* ; l'équateur eſt éloigné des poles de 90 degrés ; il coupe la terre par la moitié, & la partage en deux demi-globes ou hémiſpheres ; les cercles *G H*, *B C*, &c, qui ſont paralleles à l'équateur, s'appellent *paralleles*.

Les lignes *N E S*, *N T S*, *N A S*, &c, ſont des demi-cercles qui s'étendent d'un pole à l'autre, & qui coupent l'équateur perpendiculairement : on les nomme *méridiens*, parce qu'ils indiquent tous les lieux de la terre, qui étant au nord ou au ſud les uns des autres, ont midi dans le même inſtant.

changement de latitude en mer, qui font d'une application tout-à-fait fimple. Nous nommons *Zénith*, le point le plus haut du ciel, ou le point qui répond exactement fur notre tête; & *Nadir*, le point qui eft à l'oppofite fous nos pieds; mais pour peu que nous marchions, ces deux points changent de place, de même que notre horizon : fi nous avançons vers le nord, notre horizon s'abaiffe du même côté & s'éleve de l'autre : le point le plus haut du ciel ou notre zénith avance en même-temps vers les étoiles qui font voifines du pole nord ou *Arctique*, & s'éloigne du foleil & des étoiles qui font proches de l'équateur : fi nous faifions tout le tour de la terre ou fes 360 degrés, notre zénith parcourroit auffi la circonférence du ciel, ou fes 360 degrés. Ainfi nous pouvons juger en mer de notre progrès vers l'équateur ou vers le pole, ou de notre changement en latitude, par le changement de fituations que reçoivent les aftres à l'égard de notre zénith. Nous venons de dire que le ciel change d'apparence pour nous, auffi-tôt que nous changeons de place; dans la *Pl. XXXIII* (*fig. 11*), le grand cercle *H Z O Q* repréfente le ciel, & le petit qui eft au-dedans tient lieu de la terre : les deux poles du monde ou du ciel font marqués par les points *N* & *S*, qui font à l'oppofite l'un de l'autre : la ligne *E Q*, repréfente l'équateur du ciel, & *B C* eft l'équateur de la terre; la diftance *A B* eft donc la latitude de l'obfervateur *A*, & elle eft égale en degrés à la diftance du zénith *Z* à l'équateur du ciel; il y a exactement le même nombre de degrés de la terre depuis *A* jufqu'en *B*, que de degrés du ciel depuis *Z* jufqu'en *E*.

2061. La latitude eft encore égale à la quantité dont le pole *N* eft élevé au-deffus de l'horizon. Si l'obfervateur *A* avance vers l'équateur de la terre, fon zénith avancera du même nombre de degrés vers l'équateur du ciel, & s'y rendra exactement; fuppofé que l'obfervateur continue fa route jufqu'à l'équateur, l'horizon *H O* changera de place en même-temps, & prendra la fituation *S N*; cet horizon fitué en *N S* ne fera pas horizon pour nous, mais il le fera pour l'obfervateur arrivé en *B*, & féparera exactement pour lui la partie fupérieure du ciel de la partie inférieure.

2062. Il suit de-là que nous avons deux méthodes de déterminer la latitude d'un lieu, parce que nous pouvons observer dans le ciel deux quantités qui y sont exactement égales en nombre de degrés; nous pouvons changer la distance de notre zénith à l'équateur céleste, ou bien la quantité dont le pole est élevé au-dessus de l'horizon.

De la Longitude des Lieux sur le Globe Terrestre.

2063. Pendant que l'observation de la latitude nous fait connoître la quantité dont nous sommes avancés vers le nord ou vers le sud, par rapport à l'équateur, la *longitude* détermine notre situation plus ou moins avancée vers l'orient ou vers l'occident. Chaque nation a ordinairement choisi un méridien, qu'elle regarde comme le premier ; elle y rapporte tous les autres : & on nomme *Longitude* la distance où l'on est de ce méridien, en mesurant cette distance sur l'équateur ou sur la circonférence de quelque parallele : nous avons fait passer notre premier méridien par l'Isle-de-Fer, qui est la plus occidentale des Canaries ; nous l'avons marqué par *N A S* dans la fig. 10 ; nous l'avons placé de même dans nos cartes : on trouve beaucoup de cartes françoises où le premier méridien passe par l'Observatoire Royal de Paris ; cela est absolument indifférent, pourvu que cette multitude de premiers méridiens ne fasse tomber les Pilotes dans aucune équivoque.

2064. L'usage varie encore sur la maniere de compter la longitude ; il faut toujours la compter d'occident vers l'orient, depuis 0 degré jusqu'à 360 degrés.

2065. On doit bien remarquer que lorsqu'on court exactement au nord ou au sud, ou que lorsqu'on suit le même méridien, on conserve précisément la même longitude. La distance au premier méridien se mesure sur l'équateur ou sur les paralleles, & les degrés des paralleles sont plus petits dans le même rapport, que les intervalles entre les mêmes méridiens sont moindres, à mesure qu'on les considere dans des endroits plus voisins du pole ; il y a autant de degrés depuis *M* jusqu'en *R*, que depuis *L* jusqu'en *O*, ou que depuis *A* jusqu'au point mar-

qué par le nombre 15 ſur l'équateur ; ainſi tous les lieux qui ſont ſur le méridien, ou ſur la même ligne nord & ſud *N O R S*, ont exactement 15 degrés de longitude ; tous les points du méridien *N V S* en ont 75, &c.

2066. Il ſuit de-là, que lorſqu'on eſt fort avancé vers l'un ou l'autre pole, il ſuffit de faire très-peu de chemin pour changer conſidérablement de méridiens ou de longitudes, & pour qu'on ait une très-grande différence dans l'heure de midi. Quelque groſſeur qu'ait la terre, il doit y avoir des endroits, où en faiſant ſeulement une lieue vers l'orient ou vers l'occident, on change de 15 degrés de longitude, ce qui donne midi, une heure entiere, plutôt ou plutard. Pour qu'une lieue vaille 15 degrés, il faut que toute la circonférence du parallele ne ſoit que de 24 lieues, le diametre ne doit pas être tout-à-fait de 8 lieues, & il faut que la diſtance au pole ſoit un peu moindre que 4.

2067. Il n'eſt pas auſſi facile, lorſqu'on navigue en pleine mer, de déterminer la quantité dont on a avancé vers l'orient ou vers l'occident, ou le changement en longitude, que de découvrir le progrès vers le nord ou vers le ſud, ou le changement en latitude. On a des méthodes ſûres qu'on peut employer ſur un vaiſſeau pour déterminer exactement l'inſtant de midi, & aſſigner toutes les autres heures ; mais pour déterminer la longitude, il faudroit ſavoir en même-temps l'heure qu'il eſt dans le lieu dont on eſt parti, & on l'ignore ; l'agitation de la mer empêche qu'on puiſſe avoir dans le vaiſſeau aucune Horloge exacte, qui, réglée une fois, conſerve comme en dépôt l'heure qu'il eſt dans le lieu dont on s'éloigne. Suppoſons que nous partions du point *X* (*fig.* 10), & qu'ayant fait 30 degrés vers l'orient, nous arrivions en *P*, après pluſieurs ſemaines de navigation ; il eſt certain que ſi obſervant l'heure qu'il eſt dans le point *P*, nous trouvons qu'il eſt 5 heures du ſoir, il ne ſera que 3 heures dans le point *X*, parce que le ſoleil ſera moins avancé de deux heures, par rapport à ce ſecond point, que par rapport à l'autre. Mais pour qu'on ſût qu'il y a effectivement deux heures de différence entre les deux méridiens *N X S* & *N P S*, il faudroit avoir une Horloge aſſez bonne

pour qu'elle ne se fût pas dérangée pendant toute la route *XP*; & c'est à quoi l'Art de l'Horlogerie, quelque parfait qu'il soit, n'est pas encore parvenu. Il ne faut pas se flatter d'un meilleur succès si la route est très-courte, parce que si le dérangement qu'on doit craindre de la part des Horloges est très-petit pendant deux ou trois jours, la différence des méridiens sera aussi alors très-petite, & l'erreur sera toujours la même à proportion.

2068. Pour donner une notion étendue des moyens que l'on peut employer à la recherche des longitudes, je transcrirai encore un article sur cette matiere, il est tiré des Mém. de l'Acad. R. des Sc. c'est l'extrait d'un petit écrit que M. Cassini publia en 1722 : voyez l'Histoire de l'Académie 1722, page 102.

2069. L'extrême importance des longitudes sur mer (y est-il dit) a déterminé des Princes & des Etats, & en dernier lieu, M. le Duc d'Orléans, (Régent), de promettre de grandes récompenses à qui les trouveroit; feu M. Rouillé de Meslay, ancien Conseiller au Parlement de Paris a fondé un prix annuel, dont il a laissé le jugement à l'Académie, pour qui feroit en cette matiere quelques découvertes utiles. On n'a été que trop encouragé à cette recherche; plusieurs personnes, très-incapables d'y réussir, l'ont entreprise, & l'entreprennent encore tous les jours; quelques-uns ne savent pas même ce qu'il faut chercher, & quel est l'état de la question. C'est pour en instruire le public, pour en bien fixer les idées, & pour en donner même aux Mathématiciens, que M. Cassini a fait sur les longitudes en mer un écrit dont nous rapporterons ici le précis.

2070. Tout le monde sait ce que c'est que l'estime des Pilotes; la route du vaisseau étant, comme elle l'est, presque toujours oblique au méridien du lieu, il se forme un triangle rectangle, dont la route est *l'hypothénuse*, les deux autres côtés sont le chemin fait dans le même temps en latitude & en longitude; la latitude est connue par l'observation de la hauteur de quelqu'astre; on a par la boussole l'angle de la route; avec un côté du triangle, on a la route, en estimant quelle est en un certain temps donné la vîtesse du vaisseau; & de-là se tire très-aisément la quantité de la longitude.

2070.

2071. La plus grande difficulté eſt l'eſtime de la vîteſſe du vaiſſeau ; pour la rendre plus ſûre, on jette le *loch*, piece de bois attachée à une ficelle que l'on devide à meſure que le vaiſſeau s'éloigne du loch ; car la mer n'ayant point de mouvement vers aucun endroit, le loch y demeure flottant & immobile, & devient un point fixe, par rapport auquel le vaiſſeau a plus ou moins de vîteſſe ; mais cette ſuppoſition ceſſe abſolument d'avoir lieu, ſi l'on eſt dans un courant, ce qui n'eſt point du tout rare ; alors le loch n'eſt plus immobile, il eſt emporté avec le vaiſſeau : ſi on s'en appercevoit, on ſauroit du moins qu'on eſt dans un courant ; mais le vaiſſeau, à cauſe de ſa grande maſſe, & que le vent a plus de priſe ſur lui, eſt emporté plus vîte que le loch, & l'on prend pour vîteſſe abſolue du vaiſſeau ce qui n'eſt que ſon excès de vîteſſe ſur le loch ; erreur très-dangereuſe : on conclut une fauſſe poſition du vaiſſeau ; & ſelon la remarque de M. Caſſini, il vaut mieux ignorer abſolument où l'on eſt, & ſavoir qu'on l'ignore, que de ſe croire avec confiance où l'on n'eſt pas.

2072. Quand même on auroit ſûrement les longitudes en mer par obſervation, le ciel eſt ſouvent couvert, & quelquefois pluſieurs jours de ſuite : les pratiques communes de l'eſtime du loch ſeront toujours néceſſaires ; mais à quelque degré de perfection qu'on les pût porter, ſoit par une plus grande adreſſe d'exécution, ſoit par quelque addition qu'on y feroit, ce ne ſeroit jamais que des tâtonnements, & non des méthodes ſcientifiques & ſûres : or on demande, quand on propoſe le problême des longitudes en mer, & l'on entend qu'elles ſoient auſſi ſûres que les latitudes ; ou, pour parler plus préciſément, on veut que les ambiguités ou erreurs ne ſoient pas plus grandes que celles de la latitude, par rapport à la détermination du lieu où eſt le vaiſſeau.

2073. M. Caſſini prétend que la déclinaiſon de la lune priſe dans ſon temps le plus favorable, ne peut pas donner aſſez exactement la longitude : il en rejette la faute ſur le manque de tables qui déterminent ces inégalités avec préciſion.

2074. Ce qu'il y auroit de mieux en mer pour avoir les

longitudes par obſervation céleſte, ce ſeroit les ſatellites de Jupiter; toute la difficulté eſt qu'il faut ordinairement, pour les appercevoir, des lunettes de 15 à 16 pieds, & qu'on n'en peut gueres manier ſur mer de plus longues que de 5 pieds; car il faut qu'elles ſoient droites & ſans ſe courber, toujours dirigées à l'aſtre, immobiles, au mouvement près qui eſt néceſſaire pour ſuivre l'objet: or on voit combien cela eſt difficile à de longues lunettes ſur un vaiſſeau agité.

2075. Cependant M. Caſſini ne croit pas impoſſible qu'on ne vienne à s'en ſervir aſſez commodément: on peut ménager à l'Obſervateur une eſpéce de ſuſpenſion (*), telle qu'il ſe ſentira peu de l'agitation du navire; alors la lunette ſera appuyée & arrêtée comme ſur la terre: on peut pour cet effet employer de petites lunettes; on peut les pouſſer à tel degré de perfection, qu'elles en vaudront de grandes. M. Caſſini a fort bien obſervé ſur terre, avec une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$;

(*) Voilà la premiere idée de la *Chaiſe marine* imaginée par le ſieur Irwin: nous tranſcrirons ici la deſcription que l'on a donnée de cette Chaiſe, dans le Journal étranger du mois de Mars 1760. « Au-deſſous du tillac, & auſſi près du centre de » gravité du vaiſſeau qu'il eſt poſſible, ſont » fortement attachées l'une au-deſſus de l'au- » tre, deux portions de ſphere creuſes dont » les plans de ſection ſont paralleles à l'ho- » rizon: ces portions renferment & preſſent » entr'elles une boule de cuivre, de façon » qu'elle peut tourner en tout ſens, & » qu'elle n'a cependant aucun jeu; ainſi l'a- » juſtement de cette boule & de ces por- » tions de ſphere, reſſemble aſſez aux ge- » noux que l'on fait à certains inſtruments » de Mathématiques, pour pouvoir leur » donner la ſituation ou l'inclinaiſon qu'on » veut: ces deux portions de ſphere ſont » percées, l'une par ſa partie ſupérieure, » l'autre par ſa partie inférieure, d'une ou- » verture aſſez grande, pour laiſſer paſſer » & mouvoir une forte barre de fer qui » traverſe la boule de part en part, & fait » corps avec elle; il faut ſe repréſenter cette » barre s'élevant du côté ſupérieur juſqu'à » la hauteur du tillac, pour porter perpen- » diculairement un petit plancher aſſez ſoli- » de, & aſſez grand pour contenir la chaiſe » de l'Obſervateur, & le pied ſur lequel ſe » doit poſer un téleſcope à réflexion, qui » ſert à obſerver les ſatellites de Jupiter, » &c. Le tillac eſt coupé en cet endroit, pour » que le plancher ne puiſſe pas le rencon- » trer dans ſes différents mouvements: du cô- » té inférieur, cette barre eſt prolongée à » une aſſez grande diſtance de la boule, afin » que le poids dont elle eſt chargée agiſſe » par un levier d'une longueur ſuffiſante, » pour vaincre la réſiſtance de la boule entre » les deux portions de ſphere, & pour con- » tenir & ramener le tout dans la verticale; » car par-là le plancher placé perpendicu- » lairement ſur la barre, conſervera toujours » ſon niveau. Pour que l'Obſervateur tien- » ne plus facilement & plus conſtamment » ſon œil appliqué au téleſcope, & que leurs » divers mouvements ſe faſſent enſemble, » le téleſcope eſt appuyé par une de ſes ex- » trémités ſur ſon épaule, au moyen d'une » partie qui eſt ajuſtée à la monture, & l'au- » tre ſur le pied dont nous avons parlé; en- » fin, la partie de cet inſtrument qui eſt » tournée du côté de l'Obſervateur eſt lar- » ge, concave, & garnie de velours, afin » qu'il puiſſe l'appliquer contre ſon viſage, » & le tenir ferme contre ſon œil ».

une éclipse du troisieme satellite : il est vrai qu'il est le plus gros de tous, & qu'alors il étoit assez éloigné de Jupiter, pour n'être pas affoibli par sa lumiere. Mais enfin, puisque ce satellite a été vu avec une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$, quoique dans des circonstances favorables, cela doit donner assez d'espérance; tout dépend de l'art de perfectionner les lunettes, & il n'est pas encore épuisé.

2076. Sans avoir recours aux observations célestes, si l'on pouvoit avoir en mer une Horloge qui marquât l'heure du lieu du départ, comme de Brest, la comparaison de cette heure à celle du lieu du vaisseau donneroit parfaitement la longitude. Mais il faudroit que l'Horloge qui marqueroit dans le vaisseau l'heure de Brest, conservât, malgré l'agitation violente & irréguliere, & malgré les changements fréquents de climats, une justesse qu'à peine conserveroit-elle à terre & dans un lieu fixe : on a imaginé des suspensions, comme celle de la lampe de Cardan, qui pussent épargner à l'Horloge les plus rudes secousses ; on a imaginé de les tenir dans un air également chaud, qui fit l'effet du même climat. Tout cela est bon, & il ne faut point se lasser d'imaginer encore dans la même vue. M. Cassini est d'avis que l'on perfectionne toutes les méthodes sans exception, qui ont les longitudes pour objet : si ce n'est pas résoudre le problême dans le sens qu'il est proposé, & mériter la récompense promise, c'est du moins diminuer toujours de plus en plus un grand péril de la navigation, & travailler solidement à l'utilité publique. Une méthode sera employée au défaut de l'autre selon les occasions, & il y en aura toujours quelqu'une qui aura lieu ; de plus, l'incertitude qui restera à chacune sera levée ou amoindrie par le concours de plusieurs, selon qu'elles s'accorderont plus ou moins.

2077. Il n'est pas temps encore d'espérer beaucoup pour les longitudes du systême de M. Halley sur la déclinaison de l'aiman ; tout y paroît jusqu'à présent dans un mouvement assez irrégulier, & selon des especes de méridiens magnétiques assez bizarres ; mais peut-être en tirera-t-on un jour pour les longitudes, quelque méthode dont on augmentera le nombre

des autres qui ne peut être trop augmenté.

2078. Ce que je viens de tranfcrire de l'Ouvrage de M. Bouguer, & des Mémoires de l'Académie, eft fuffifant pour donner une notion des longitudes, & pour faire fentir combien il eft effentiel de les déterminer en mer, afin de diriger la route du vaiffeau, d'abréger le trajet, d'éviter les écueils & les naufrages auxquels un vaiffeau eft expofé : ainfi rechercher les moyens de parvenir à déterminer la longitude en mer dans tous les temps, eft le fervice le plus grand que l'on puiffe rendre aux navigateurs & à la fociété : cet objet eft donc très-capable d'exciter vivement l'émulation d'un bon citoyen. Je laiffe aux Aftronomes la recherche des longitudes par les éclipfes des fatellites de Jupiter, par la lune, &c; il eft à propos de prendre différentes routes, & chacun doit fuivre celle qui lui convient ; trop heureux fi, en combinant différents moyens, on peut y parvenir. Quant à moi je fuis le chemin qui a été tracé par le célebre Huyghens, le créateur de l'Horlogerie (*), je veux dire, de faire fervir l'Horlogerie aux longitudes; car une Horloge parfaite feroit le moyen le plus fimple; s'il offre des difficultés, je penfe qu'elles ne font pas infurmontables; avec du courage, du génie, beaucoup de patience, on pourra y parvenir: il eft donc à propos d'encourager les Artiftes à faire des recherches là-deffus : je fouhaiterois que la navigation eût cette obligation à l'Horlogerie. Mon but eft donc de parvenir à la compofition d'une Horloge marine affez parfaite, pour mefurer exactement le temps fur mer, malgré les agitations du vaiffeau, &, ce qui eft plus difficile à vaincre, les changements caufés à une telle machine, par la différence des climats, & celle que caufe la différence de la pefanteur. Si je ne parviens pas au but, en rendant mon Horloge marine propre à donner immédiatement la

(*) Dès la premiere application du pendule aux Horloges par Huyghens, cet Aftronome célebre travailla à placer ces Horloges fur des vaiffeaux pour trouver la longitude en mer. En 1664, il y en eut quelques-unes de faites, & qui eurent affez de fuccès, quoiqu'il ne pût alors faire attention aux changements de la pefanteur & des dilatations & contractions de la verge, deux caufes qui devoient beaucoup faire varier ces Horloges en changeant de climats.

longitude, j'ose croire qu'elle servira au moins à faire des observations en mer, & que jointe à la Chaise marine que M. Irwin a inventée en dernier lieu en Angleterre, on pourra, en réunissant ces deux moyens, avoir la longitude dans tous les temps : enfin ces recherches, quand même elles n'auroient pas le succès qu'on peut desirer, ont un but assez noble pour dédommager des peines qu'elles coûtent, par la seule satisfaction de l'avoir osé tenter ; elles sont d'ailleurs utiles, puisqu'elles ne ne font que perfectionner l'art, & ajouter à ce qu'on savoit, car ce n'est que par degrés que l'on parvient à la perfection : ce qui a échappé à ceux qui ont entrepris la même carriere, je puis l'avoir saisi ; & un homme de génie qui travaillera après moi, achevera ou suppléera à ce qui manque à mes recherches.

2079. Avant de décrire l'Horloge marine que j'ai composée & exécutée, je dois rendre compte des principes & raisonnements qui m'ont conduit à sa construction ; c'est ce qui forme la matiere du Chapitre suivant ; ensuite nous donnerons dans le Chapitre XLII la description de cette Horloge ; & enfin, dans le Chapitre XLIII, nous rendrons compte de son succès, & le détail des expériences que j'ai faites.

CHAPITRE XLI.

Examen des Principes que l'on doit suivre dans la composition d'une Horloge-Marine, au moyen de laquelle on puisse déterminer les longitudes en Mer.

2080. POUR parvenir sûrement à la composition d'une bonne machine qui puisse mesurer exactement le temps en mer, il faut examiner, avec une extrême attention, les causes de la justesse d'une Horloge astronomique, afin de suivre, s'il est

poſſible, la même marche, en ſubſtituant aux Horloges marines l'équivalent le plus approchant. Nous allons donc examiner les propriétés du pendule, & découvrir les cauſes de ſa juſteſſe, ce régulateur étant le plus parfait que l'on ait trouvé pour les machines qui meſurent le temps.

2081. Les expériences que j'ai faites ſur le pendule libre, ont fait voir que lorſqu'il eſt bien ſuſpendu & diſpoſé, il peut vibrer pendant deux jours entiers, étant abandonné à lui-même, après l'avoir éloigné de 5 degrés de la verticale : voici les cauſes de cette longue durée du mouvement du pendule.

2082. 1°, La forte peſanteur de la lentille exige que la puiſſance qui la met en mouvement ſoit grande, ainſi la force qu'elle acquiert eſt en même raiſon : or, plus la lentille eſt peſante, & plus la réſiſtance de l'air diminue (1565); *Une lentille peſante a donc une grande quantité de mouvement, & peu de réſiſtance de l'air; elle tend donc à conſerver le mouvement imprimé.*

2083. 2°, La durée du mouvement du pendule libre vient de ſa ſuſpenſion, dont le frottement eſt infiniment petit, par la raiſon que l'eſpace parcouru par la lentille eſt très-grand relativement au point de ſuſpenſion : cette différence ſera d'autant plus grande que la lentille ſera diſtante du point de ſuſpenſion; c'eſt-à-dire, que le pendule ſera long, (l'angle du couteau reſtant le même). D'ailleurs le frottement de la ſuſpenſion du pendule ſe fait par le développement de l'angle du couteau ſur la gouttiere (2024); or cette eſpece de frottement eſt la plus favorable.

2084. 3°, Le point de ſuſpenſion du pendule étant formé par des parties très-dures, elles ne peuvent pas être pénétrées, & conſéquemment le frottement eſt très-petit.

Cauſes de l'Iſochroniſme des vibrations du Pendule, & de la juſteſſe d'une Horloge Aſtronomique.

2085. 1°, C'eſt, comme on le ſait, l'action de la peſanteur qui produit les vibrations du pendule; car lorſqu'on a

éloigné un pendule de la verticale, & qu'on l'abandonne à lui-même, la pesanteur le fait descendre; & avec la force qu'il acquiert par sa descente, il remonte à la même hauteur de l'autre côté de la verticale; ayant perdu toute sa force, la pesanteur le fait redescendre, &c: or cette action de la pesanteur est constamment la même, d'où suit l'isochronisme des vibrations du pendule, puisque si l'on suppose pour un moment que le pendule n'éprouve aucune résistance de l'air ni de la suspension, il fera toutes ses vibrations de même étendue, & par conséquent de même durée: & quoiqu'il ne puisse y avoir de pendule qui ne soit susceptible de la résistance de l'air & du frottement de suspension; cependant si ce régulateur est bien disposé, il fera un très-grand nombre d'oscillations qui auront sensiblement la même étendue, & par conséquent la même durée.

2086. 2°, D'où il suit qu'un tel pendule exige une force infiniment petite pour en entretenir le mouvement, & que par conséquent cette force motrice ne doit pas troubler l'isochronisme des vibrations, puisque la quantité de mouvement du pendule qui est très-grande, ne peut être interrompue par les petites inégalités de la force motrice.

2087. 3°, La force motrice d'une Horloge Astronomique est toujours un poids dont l'action est constante, & qui communique au pendule des degrés égaux de force pour en entretenir le mouvement.

2088. 4°, On sait que le changement de longueur du pendule change la durée des oscillations, & que la verge d'un pendule s'alonge par la chaleur, & se raccourcit par le froid, ce qui est un obstacle à leur justesse: on avoit essayé depuis long-temps de remédier à cette difficulté; & ce que l'on n'avoit que tenté & ébauché, je crois l'avoir porté à sa perfection; voy. Part. II, Ch. XXXVIII, 2016, &c. Je puis donc ajouter ici, pour perfection des Horloges astronomiques, celle de n'être en aucune maniere susceptibles de la différence de température.

2089. 5°, Une des causes de la constante justesse d'une

Horloge aſtronomique, c'eſt que le point de ſuſpenſion du pendule reſte ſenſiblement le même ; c'eſt-à-dire, que la réſiſtance ou frottement qui s'oppoſe au mouvement du pendule eſt toujours la même, & ne varie point, ou infiniment peu, & elle cauſe d'autant moins de changement dans la durée des oſcillations, qu'elle eſt infiniment petite, relativement à la force de mouvement du pendule.

2090. 6°, Enfin, nous devons obſerver ici que la juſteſſe d'une Horloge aſtronomique dépend auſſi de la grande différence qu'il y a entre la quantité du mouvement du pendule & la force motrice; car il pourroit encore arriver que, malgré toutes les propriétés du pendule que nous venons de rapporter, l'Horloge où il ſeroit appliqué, feroit des écarts ; c'eſt dans le cas où la force motrice ſeroit aſſez grande pour donner le mouvement au pendule auparavant en repos, (comme cela ſe fait dans les montres) ; or la juſteſſe d'une telle machine dépendroit alors de l'uniformité de force tranſmiſe au régulateur par le moteur ; mais la force tranſmiſe au régulateur, lors même que le moteur eſt un poids, varie par la coagulation des huiles, par les frottements du rouage, (qui ſeroient alors très-grands, ainſi que ceux de l'échappement), par la contraction des huiles par le froid, &c ; donc la force motrice étant plus grande que celle du régulateur, celui-ci en ſuivroit les impreſſions, & on ne pourroit parvenir à donner de la juſteſſe à une telle machine, qu'en appliquant un échappement qui eût la propriété de rendre iſochrones les oſcillations du pendule, malgré l'inégalité des arcs qu'il décrit : & un tel moyen ne donneroit pas toute la juſteſſe poſſible ; car les frottements de l'échappement changeroient ſa propriété. L'addition de la cicloïde ne réuſſiroit pas mieux, car elle ne pourroit ſe faire qu'avec un échappement à repos, dont les frottements changent beaucoup : lors donc que l'on veut que les oſcillations du pendule ſoient iſochrones, ſans recourir à des propriétés d'échappements très-difficiles à obtenir, & plus encore à conſerver, il faut que la force motrice ne faſſe que reſtituer au pendule la force qu'il perd à chaque oſcillation.

REMARQUE.

2091. Nous devons obſerver ici par rapport au pendule, qu'il faut que le point de ſuſpenſion de cet excellent régulateur ſoit parfaitement inébranlable & ſolidement arrêté, ſans quoi le moindre mouvement ou flexion qu'il auroit, changeroit la durée des oſcillations, & feroit même arrêter le pendule, pour peu que ce mouvement fût un peu conſidérable; car ſi on ſuppoſe que pendant que le pendule éloigné de la verticale tend à deſcendre, le point de ſuſpenſion ſe meuve ſelon le plan d'oſcillations en ſens contraire de la deſcente du pendule, & avec la vîteſſe de la lentille, celle-ci arrivée au milieu de ſa deſcente reſteroit en repos, puiſqu'elle ſe trouveroit dans la verticale du point de ſuſpenſion, ſans avoir acquis de force pour remonter de l'autre côté; & par une ſuite de la même remarque, les oſcillations du pendule changeroient de durée ſelon la diverſité de mouvement relatif de ſuſpenſion avec ceux de la lentille.

Recherches pour parvenir à ſubſtituer un Régulateur aux Horloges-Marines, qui ait les mêmes propriétés que le Pendule.

2092. La remarque que nous venons de faire ſur la néceſſité de rendre très-fixe le point de ſuſpenſion du pendule, ſert à nous faire voir l'impoſſibilité d'employer un tel régulateur (*) aux Horloges marines continuellement expoſées à

(*) Le pendule oppoſe encore un autre obſtacle qui l'empêche de pouvoir ſervir en mer, quand même on parviendroit à ſuſpendre l'Horloge, de maniere à ne pas déranger les oſcillations; c'eſt celui qui eſt cauſé par la différence de la peſanteur : car un pendule qui bat les ſecondes à Paris, doit être plus court ſi on le tranſporte ſous l'équateur, & plus long ſi on le tranſporte ſous le pole; & cette différence de la peſanteur eſt capable de cauſer des écarts très-conſidérables; car la longueur du pendule qui bat les ſecondes ſous l'équateur eſt de 36 pouc. lig. 7, 07 au niveau de la mer: à Paris, dont la latitude eſt de 48 degr. 50 min. la longueur du pendule à ſecondes eſt de 36 pouc. 8 lig. 57; à Pello en Laponie, à 66 degr. 48 min. de latitude, 36 pouc. 9 lig. 17; c'eſt-à-dire, qu'une Horloge qui ſeroit réglée à Pello, retarderoit d'environ 3 min. $\frac{1}{2}$

toutes ſortes d'agitations & mouvements : il faut donc recourir à un régulateur qui conſerve ces oſcillations, malgré qu'il ſoit agité ; tel eſt celui que l'on emploie dans les montres, je veux dire le balancier ; cette propriété du balancier vient, comme nous l'avons vu (124), de ce que ſon centre de mouvement eſt le même que celui de gravité.

2093. Voyons maintenant comment on peut parvenir à ſubſtituer au balancier l'équivalent des propriétés qui cauſent la juſteſſe du pendule.

2094. 1°, En faiſant un balancier peſant, il éprouvera une moindre réſiſtance de l'air.

2095. 2°, En faiſant le balancier fort grand, comme d'un pied de diametre, on diminuera le frottement à proportion ; mais pour remplir cet objet, il faut que la peſanteur du balancier ſoit ſupportée, de maniere à produire le moindre frottement poſſible ; c'eſt ce que nous expliquerons ci-après.

2096. 3°, La propriété que donne la peſanteur au pendule pour lui faire faire des vibrations, eſt celle qu'il eſt le plus difficile de donner au balancier ; car ſi on vouloit les produire par un poids, comme avoit fait Sully, la moindre inclinaiſon ou agitation de la machine augmenteroit ou diminueroit l'action du poids, ce qui changeroit la durée des oſcillations ; d'ailleurs ce poids par ſa deſcente participeroit aux changements de peſanteur produits par la différence des latitudes : le reſſort ſpiral eſt donc le ſeul agent connu propre à produire les oſcillations du balancier, puiſque ſon action eſt la même dans toutes les poſitions ; mais on ſait qu'un reſſort agit avec plus ou moins de force, ſelon qu'il fait chaud ou froid, ce qui fait accélérer ou retarder les oſcillations du balancier : nous expliquerons ci-après par quels moyens nous eſpérons parvenir à vaincre cet obſtacle.

2097. 4°, Lorſque le balancier libre décrit de grands arcs,

par jour, ſi on la tranſportoit ſous l'équateur : il eſt vrai que l'on pourroit conſtruire une courbe, au moyen de laquelle on éleveroit & baiſſeroit le pendule ſelon la longueur requiſe pour telle latitude ; mais cette courbe ne pourroit être que tâtonnée, & par conſéquent ſujette à erreur ; ce moyen ſeroit d'ailleurs très-incommode : on pourroit auſſi ſouſtraire de l'heure marquée par l'horloge à pendule, le changement qui a dû arriver par telle différence de latitude.

ces arcs diminuent & changent ſenſiblement d'étendue; ainſi il faut une grande force pour en entretenir le mouvement; au contraire, lorſqu'il décrit de petits arcs, il s'en fait, comme dans le pendule libre, un grand nombre de même étendue; par conſéquent les oſcillations ſont alors ſenſiblement de même durée, & la force requiſe pour en entretenir les vibrations eſt très-petite, & differe de beaucoup de la force du mouvement du balancier. Il faut donc faire décrire de petits arcs au balancier, & ne donner pour force motrice que la quantité requiſe pour reſtituer au balancier la force que la réſiſtance de l'air, les frottements des pivots & de la ſuſpenſion lui font perdre; mais il eſt bon de remarquer que dans ce cas la force motrice ne ſera pas ſuffiſante pour rendre le mouvement au balancier lorſque la machine eſt arrêtée, & que par conſéquent, pour la faire marcher, il faut donner le mouvement au balancier, comme on le fait dans les horloges à pendule, ce qui ne ſouffre aucune difficulté. Il n'en eſt pas de même de l'effet des agitations du vaiſſeau; car ces agitations peuvent être aſſez grandes pour augmenter & diminuer le temps des vibrations, & même pour arrêter la machine, défaut très-conſidérable; il eſt vrai qu'en donnant aſſez d'action à la force motrice, elle pourroit alors redonner le mouvement au balancier: or ces oſcillations ſeroient alors ſujettes aux variations de la force motrice; enfin, on pourroit encore corriger ces inégalités de force motrice par un échappement iſochrone. Mais nous avons heureuſement un moyen propre à lever ces obſtacles, en conſervant au régulateur les propriétés du pendule; c'eſt de faire deux balanciers de même diametre, poids, &c, dont les axes portent des roues qui s'engrenent & ſe communiquent le mouvement de la même maniere que je l'ai fait à la montre décrite (*Part. II, Ch. XXXVII*); par ce moyen, aucune agitation du vaiſſeau ne pourra troubler les oſcillations du régulateur; car ces balanciers tournent toujours en ſens contraire; ainſi les impreſſions du vaiſſeau ſur un balancier, ſeront auſſi-tôt détruites par l'autre balancier. Il ne ſera donc beſoin que de très-peu de force motrice, dont l'inégalité ne pourra troubler l'iſochroniſme des vibrations.

2098. Enfin nous ſuſpendrons la machine, de maniere que tous les mouvements & les agitations du vaiſſeau ne puiſſent changer ſenſiblement la poſition de la machine. Nous allons entrer dans tous les détails de conſtruction qui ont précédé l'exécution de notre Horloge marine.

2099. 1°, Les balanciers ſeront poſés horizontalement; ainſi leurs oſcillations ſe feront dans un plan perpendiculaire aux balancements du vaiſſeau.

2100. 2°, Les balanciers ſeront ſuſpendus par des reſſorts (*a*) qui en ſoutiendront toute la maſſe; enſorte qu'ils n'éprouveront qu'un frottement infiniment petit, & qui ſera conſtamment le même, à cauſe de la poſition avantageuſe des balanciers qui ſe meuvent horizontalement, & que leurs pivots ne ſupportent qu'une très-petite partie du poids des balanciers, lors même que la poſition n'eſt pas tout-à-fait horizontale.

2101. 3°, Comme le frottement qui ſe feroit ſur la circonférence des pivots ſeroit conſidérable, ſi les balanciers prenoient toutes les inclinaiſons du vaiſſeau, nous employerons tous les moyens poſſibles pour conſerver les balanciers toujours ſenſiblement horizontaux. Pour cet effet, l'Horloge ſera attachée à une ſuſpenſion (*b*) à peu-près ſemblable à celle qu'on employe pour les bouſſoles marines, mais avec une diſpoſition particuliere. Autour des quatre pivots qui forment les balancements, par le roulis & le tangage, il y aura quatre demi-cercles ayant tous même grandeur, & ſur leſquels on fera appuyer une plaque d'acier, afin de produire un frottement égal qui empêche-

(*a*) Avant de déterminer exactement la conſtruction de mon Horloge marine, je fis des expériences ſur un grand balancier peſant : j'eſſayai d'abord de faire vibrer le balancier peſant en faiſant rouler la pointe du pivot ſur une agathe orientale ; mais le pivot creuſoit la pierre : enſuite j'employai un d amant; alors la pointe du pivot s'émouſſoit, & de ſorte que les vibrations de ce balancier libre ceſſoient en très-peu de temps : enfin j'imaginai de le ſuſpendre par un reſſort de la maniere qu'on le voit *Pl. XXXI*, *fig.* 1; ce qui me réuſſit parfaitement.

(*b*) Je m'étois d'abord propoſé d'employer une ſuſpenſion à genou, à peu près ſemblable à celle d'un pied ordinaire de téleſcope; mais j'ai obſervé que pour éviter que l'axe de la boule ne touchât aux calottes dans les grandes agitations du vaiſſeau, il faudroit faire l'ouverture de cette calotte très-grande, & que dans ce cas il ne reſteroit qu'une très-petite ſuperficie frottante que le frottement continuel de la boule auroit bientôt détruite, & qu'alors ce frottement deviendroit beaucoup plus conſidérable.

ra les oscillations de la machine, dont le poids ne sera que suffisant pour ramener à la situation horizontale; on augmentera & on diminuera ce frottement à volonté.

2102. 4°, Pour éviter les contre-coups que peuvent causer les agitations violentes du tangage, j'adapterai au-dessous de la suspension un ressort en forme de tirebourre, lequel suspendra l'Horloge, & adoucira les secousses de la même maniere que les ressorts d'un carrosse.

2103. 5°, Lorsque la mer est fortement agitée, le vaisseau reçoit des mouvements de trépidation à peu-près comme une montre que l'on feroit aller & revenir vivement en la tournant selon le plan du cadran; ce mouvement se fait donc selon le plan des balanciers; & quoique les deux balanciers doivent servir à rendre nulles de telles agitations, il est essentiel de les empêcher de parvenir jusqu'aux balanciers : c'est pour l'éviter que la suspension sera construite, de maniere que le vaisseau venant à tourner selon son plan, par ce mouvement de trépidation, la suspension tournera séparément de l'Horloge, dont l'inertie la fera rester en repos.

2104. 6°. Pour diminuer les frottements sur la circonférence des pivots, au lieu de les faire rouler dans des trous de cuivre, je ferai ces trous dans des agathes orientales les plus dures, & je construirai l'axe des balanciers, de maniere que l'on puisse rapporter aisément des pivots d'un acier fin & trempé très-dur; car si on formoit les pivots sur les axes mêmes, il ne seroit pas possible de leur donner le même degré de dureté, puisque plus les pieces sont grosses, & moins l'acier est fin, & moins il devient dur; d'ailleurs si on venoit à casser un pivot, on le rapporteroit facilement, comme on le verra dans la description du Chapitre suivant. Enfin il résultera de cette disposition des pivots & des trous, que l'huile que l'on mettra pour adoucir encore le frottement, se conservera très-longtemps pure; car il ne pourra se détacher des parties, qui broyées avec l'huile, l'épaississent bien-tôt, (comme cela arrive aux montres) ce qui altére nécessairement la liberté de mouvement du balancier.

2105. 7°, Les vibrations des balanciers seront produites par des ressorts spiraux les plus parfaits possibles, c'est-à-dire, de bon acier, & trempés très-dur.

2106. 8°, Chaque balancier sera réglé par un spiral, & de sorte qu'en les faisant vibrer séparément, leurs oscillations soient d'une seconde ; & lorsqu'ils seront mis en place, & qu'ils se communiqueront par l'engrenage des roues, ils feront leurs vibrations dans le même temps (une seconde) : l'engrenage servira donc uniquement dans le cas d'agitation du vaisseau.

2107. 9°, Il faut que les deux bouts de chaque spiral soient attachés très-solidement, l'un à la virole portée par l'axe, & l'autre à la platine, de maniere que le piton ne puisse ni fléchir ni vibrer ; car sans cela le mouvement de vibration que l'on donneroit au ressort seroit bien-tôt détruit, puisque sa force se consumeroit à ébranler le corps qui le retient ; & celui-ci ne restituant pas la même quantité de mouvement, les oscillations diminueroient plutôt ; il arriveroit aussi que les oscillations se feroient en des temps différents de ce qu'elles feroient si le ressort eût été fixé très-solidement.

2108. 11°, La perfection des ressorts spiraux est très-essentielle, & exige des soins infinis : il faut qu'ils ayent une bonne courbure, & que la force des lames soit ménagée, de sorte qu'en vibrant, toutes les parties du ressort se développent ; ils doivent être trempés très-dur. Pour cet effet, il faudra les tremper après qu'ils seront pliés ; de cette maniere ils restitueront une plus grande partie de la force qu'ils reçoivent : ainsi le balancier vibrera plus long-temps.

2109. Il ne faut pas que les spiraux gênent les balanciers en pressant les pivots contre les trous ; comme ils seront forts, une telle pression causeroit un frottement capable de troubler les vibrations ; ainsi lorsque les balanciers seront arrêtés & la machine posée horizontalement, il ne faut pas que les pivots touchent aux parois des trous ; c'est pour y parvenir que je dispose le piton du spiral, de maniere à pouvoir l'approcher ou l'écarter du centre, & à l'arrêter avec deux fortes vis au point où le ressort libre le porte.

2110. La virole du ſpiral arrêtera le ſpiral au moyen de deux vis; & le ſpiral pourra monter & deſcendre ſur le piton & ſur la virole, de maniere à ne pas pouvoir être bridé ſelon la hauteur des lames.

2111. Pour que le ſpiral, par ſon mouvement, ne porte pas les pivots du balancier tantôt d'un côté des trous, & tantôt de l'autre, il faut qu'il faſſe pluſieurs tours de lame, & que la virole du ſpiral ſoit bien au milieu du reſſort; alors le balancier tournera ſans que que ſon centre ſe meuve hors de l'axe.

2112. 12°, Pour employer la moindre force motrice, les balanciers ne décriront que des arcs d'environ 20 degrés.

2113. 13°, La force motrice ne ſera que de la quantité requiſe pour entretenir les vibrations du balancier.

2114. 14°, La force motrice d'une telle machine ne peut être un poids; car les agitations du vaiſſeau tendroient à diminuer ou à augmenter ſon action; j'employerai donc un reſſort, dont la force ſera rendue uniforme au moyen d'une *fuſée*.

2115. 15°, J'ai fait voir (1989) que plus un reſſort a de vîteſſe, & fait des vibrations approchantes de celles d'un ſpiral de balancier, & plus un tel reſſort conſerve ſon élaſticité: je ne ferai donc marcher cette Horloge que 24 heures ſans remonter.

2116. 16°, La force tranſmiſe par le rouage au régulateur, change néceſſairement par les frottements, par l'épaiſſiſſement des huiles, par l'action du chaud & du froid ſur les huiles & ſur le reſſort moteur, &c; ainſi l'étendue des arcs décrits par les balanciers, doit auſſi changer de même que la durée des vibrations. Pour éviter ces petites inégalités, j'emploierai un échappement qui rende les oſcillations iſochrones, malgré l'inégalité de force motrice.

2117. 17°, Dans une machine dont le moteur eſt un reſſort, on n'eſt pas maître d'appliquer très-exactement la force convenable pour entretenir les vibrations du régulateur: j'emploierai ici, pour ſuppléer à cette difficulté, une fourchette mobile, qui fera décrire de plus grands ou plus petits arcs au balancier, ſelon que je l'approcherai ou l'éloignerai du centre du balancier.

2118. 18°, Pendant qu'on remonte une montre, elle s'arrête. Pour éviter ce défaut essentiel dans notre Horloge, nous emploierons une détente qui entretiendra le mouvement de la machine; cette détente portera une piece qui recouvrira le trou du remontoir, ensorte qu'on ne puisse faire entrer la clef sur le quarré sans avoir déplacé la détente, & par conséquent sans la faire agir sur le rouage.

2119. 19°. Les roues du mouvement seront placées horizontalement, comme les balanciers; ainsi leur pesanteur sera portée par la pointe des pivots qui rouleront sur des coquerets d'acier.

2120. 20°, Les expériences que j'ai faites sur les balanciers libres, m'ont appris que plus les vibrations sont lentes, & plus l'impulsion qu'on donne au balancier se conserve longtemps, d'où on voit qu'il seroit avantageux d'employer des vibrations lentes, parce qu'alors la force requise pour entretenir le mouvement du balancier, seroit très-petite; mais il est bon d'observer, ainsi que nous l'avons fait (1865) que la quantité de mouvement d'un régulateur doit être grande, afin que les changements qui peuvent arriver dans les frottements & les huiles, soient dans un moindre rapport avec cette force; je ferai donc chaque vibration d'une seconde, ce qui est préférable à des oscillations plus lentes, sur-tout pour servir à observer.

2121 21°, Enfin, je disposerai un méchanisme qui soit tel, que les impressions du chaud & du froid ne changent pas la durée des oscillations des balanciers; & jespere en venir aussi heureusemement à bout que pour les Horloges astronomiques. Pour cet effet, je placerai sur la cage des balanciers une verge composée de verges d'acier & de cuivre, à peu près semblables à la verge du pendule astronomique (*Pl. XXIII, fig.* 12) : je ferai agir sur la verge de cuivre du milieu le petit bout d'un grand levier; & l'extrémité du grand portera une cheville qui fera mouvoir le rateau qui porte les chevilles, entre lesquelles le spiral d'un des balanciers passe : ainsi lorsque la chaleur agissant sur les spiraux, les affoiblira, & tendra à retarder les vibrations du régulateur,

régulateur, la même chaleur agira ſur les verges, & fera mouvoir le levier, & par conſéquent le rateau, & de ſorte qu'il accélérera les vibrations de la même quantité que l'affoibliſſement des ſpiraux l'a fait retarder, & compenſera ainſi les écarts que le chaud & le froid pourroient produire : voici en gros la route qu'il faudra tenir.

2122. Lorſque l'Horloge marine ſera exécutée, je la placerai d'abord au froid de la glace, & enſuite au chaud de 30 ou 40 degrés, afin d'eſtimer la variation que cette différence de température cauſe à l'Horloge : je noterai exactement ces écarts. Je placerai enſuite l'Horloge dans un air tempéré ; j'avancerai le rateau ou porte-cheville du ſpiral, juſqu'à ce qu'il faſſe autant avancer l'Horloge, que le froid l'avoit faite avancer dans le temps donné de l'expérience ; je placerai enſuite le rateau en arriere, & ferai retarder l'Horloge de la même quantité que la chaleur l'a faite retarder, ayant attention que pendant tout ce temps l'Horloge ſoit à la même température ; je marquerai ſur la platine les points où a été conduit le rateau ; cela connu, j'aurai la quantité dont il faudroit tourner ce rateau, pour conſerver les oſcillations des balanciers iſochrones, quoiqu'ils éprouvaſſent le froid de la glace, & paſſaſſent enſuite à 30 ou 40 degrés de chaleur. Je compoſerai donc en conſéquence la verge de compenſation, avec plus ou moins de verges, ſelon la quantité de mouvement que devra faire le rateau ; cela donnera auſſi les dimenſions du levier de compenſation, & la diſtance où il devra agir ſur le rateau ou porte-cheville du ſpiral ; mais je me réſerverai encore un moyen de changer ces dimenſions, en rendant mobile la cheville du grand levier de compenſation, afin de la faire agir plus loin ou plus près du centre du rateau, & par conſéquent de lui faire parcourir plus ou moins d'eſpace, & de corriger, ſelon qu'il ſera beſoin, ces rapports, afin que la compenſation ſe faſſe exactement lorſque l'Horloge ſera expoſée à différentes températures.

2123. La deſcription de cette Horloge ſuppléera à ce qu'on n'aura pas entendu ci-devant.

2124. Voilà en gros les principes de construction que nous avons établis sur notre Horloge marine, avant de travailler à son exécution : nous allons maintenant la décrire, réservant quelques expériences que j'ai faites pour être placées à la suite du Chap. XLII.

CHAPITRE XLII.

Description de l'Horloge Marine que j'ai composée, pour servir à la Navigation, & à déterminer la Longitude en Mer.

PLANCHE XXX.

2125. LA figure de la XXXe Planche représente l'Horloge-marine toute montée avec sa suspension, en un mot, prête à attacher au vaisseau.

De la Suspension.

2126. *ABCD*, est une plaque épaisse de cuivre qui doit poser sur une planche du plafond du vaisseau, avec laquelle elle s'attache au moyen des quatre fortes vis, 1, 2, 3, 4; cette plaque est percée d'une grande ouverture parallélogramme *a*, *b*, *c*, *d*; la planche du vaisseau doit avoir une pareille ouverture pour laisser le jeu à la suspension : cette plaque *AD* qui est fondue, porte deux parties opposées & semblables *E*, *F*, qui sont deux demi-cercles, dont le centre est percé & taraudé pour recevoir les vis *G*, dont les bouts sont terminés par des pivots : le cercle *HI* est divisé & percé de quatre trous, dont deux servent pour recevoir les pivots portés par les pieces *E*, *F*, & les deux opposés reçoivent les pivots des vis *K*, *L*; ces

vis sont attachées sur une forte fourchette de cuivre fondu *M N O*; la fourchette porte en *N* l'axe *Q P* qui supporte l'Horloge. Ainsi on voit que si le vaisseau s'incline selon sa longueur, c'est-à-dire, qu'il agisse par le *tangage*, le roulement se fera sur les pivots opposés portés par les pieces *E*, *F*; & à cause de la pesanteur de l'Horloge, elle restera immobile pendant que le vaisseau balancera sur sa longueur; & si le vaisseau se balance selon sa largeur, c'est-à-dire, par le *roulis*, le roulement se fera sur les pivots des vis *K*, *L*, & l'Horloge restera encore en repos, ou sensiblement horizontale; enfin, si les balancements du vaisseau se font en partie par le roulis, & partie par le tangage, alors le mouvement de la suspension sera formé, partie par le roulement autour des pivots *K*, *L*, & partie autour de ceux *G*, *F*, & l'Horloge restera encore horizontale.

2127. Autour des vis *K*, *L*, sont formés deux demi-cercles, *M*, *O*, pareils à ceux *E* & *F*, & de même rayon; le ressort à quatre branches *Q Q*, agit sur chacun de ces cercles, & il les presse également, pour produire un frottement capable d'empêcher les oscillations que pourroit prendre l'Horloge dans de certaines agitations du vaisseau : la broche *e* qui porte ce ressort, est fixée sur une plaque portée par le dessous du cercle *H I* (*); l'écrou *f* sert à donner plus ou moins de tension au ressort *QQ*, & par conséquent à changer le frottement qu'il produit autour des demi-cercles *E*, *F*, *M*, *O*. Pour empêcher que le frottement sur les pivots des vis *G*, *F*, *K*, *L* ne puisse faire tourner les vis dans leurs trous, chaque demi-cercle porte un coussinet,

(*) J'avois fait percer ce cercle *H I* d'un assez grand trou, afin d'y laisser passer un prolongement de l'axe *Q P*; cet axe ainsi prolongé, auroit servi à porter une Chaise sur laquelle on auroit pu asseoir un Observateur, comme l'a fait M. Irwin en Angleterre; mais j'ai supprimé cet usage, me contentant de mon objet : d'ailleurs cette suspension, lorsque le vaisseau agit en même-temps par le tangage & le roulis, fait faire à l'Horloge un petit mouvement horizontal qui ne fait rien à l'Horloge, mais qui auroit été très-contraire à l'Observateur : au reste, il ne sera pas difficile de joindre ces deux propriétés à la suspension; celle de porter un Observateur & l'Horloge. Dans mon ancien plan, je m'étois proposé de faire porter par les côtés de la Chaise deux branches qui auroient passé au-dessus de la tête de l'Observateur, & dont une traverse auroit porté une suspension à genou, sur laquelle devoit être attaché le télescope; cette seconde suspension auroit infiniment réduit l'effet des agitations du vaisseau; elle auroit pu servir à porter une Horloge à pendule à demi-seconde & à poids.

comme *g*, qui traverse le trou, & est taraudé; la vis de pression *h* agit sur le coussinet, & fixe très-solidement la vis avec son trou.

2128. L'axe *P Q* porte, par son extrémité supérieure, la boule *Q* qui roule dans la cavité sphérique faite en *N* à la fourchette *M N O*. La boule a deux sortes de mouvements; le premier, par lequel l'Horloge pourra tourner horizontalement & séparément de la suspension; c'est pour éviter que lorsque le vaisseau est fortement agité, & qu'il a des mouvements de trépidation, il ne puisse entraîner l'Horloge; car la force d'inertie sera supérieure à la résistance de la boule, ce qui fera rester immobile l'Horloge, tandis que le vaisseau ira & reviendra vivement sur lui-même; le second mouvement de la boule permet à l'axe *Q P* de s'incliner de côté & d'autre sur la fourchette, par le roulement de la boule dans sa cavité sphérique; pour cet effet, le trou de la fourchette, à travers lequel passe l'axe, est aggrandi selon les lignes ponctuées *i*, *l*. Le mouvement d'inclinaison que peut prendre l'axe *Q P*, selon tous les sens, est semblable à celui d'une suspension à genou; il peut servir à diminuer l'effet des balancements du vaisseau qui se font en même-temps par le tangage & le roulis. La traverse *m* pose sur le sommet de la boule *Q*; cette traverse est rendue fixe après la fourchette au moyen de deux vis, comme *n*; en serrant plus ou moins ces vis, on cause plus ou moins de frottement à la boule, & selon qu'il est besoin pour empêcher le mouvement de vibration que pourroit prendre l'Horloge : cette traverse *m* sert en même-temps à empêcher que dans de fortes secousses du vaisseau, la boule & l'axe ne puissent s'éloigner de la fourchette.

2129. L'axe *Q P* porte une forte plaque ronde *R*, formée sur l'axe même; elle sert à retenir, au moyen des deux ponts *o*, *p*, le bout inférieur d'un ressort à boudin *S*, dont le trou entre librement sur l'axe; le bout supérieur de ce ressort est fixé par deux ponts opposés *q*, avec la partie *T*, sur laquelle s'attachent les quatre branches 5, 6, 7, 8, dont les extrémités inférieures sont fixées à la cage de l'Horloge : l'axe *Q P* est

cylindrique, il entre librement dans les trous faits en *T* & *V*; ainsi le ressort *S* soutient toute la pesanteur de l'Horloge, & s'il arrive que le vaisseau éprouve de fortes secousses par le tangage, le ressort fléchit, & cede à leur impression qui ne se communique pas jusqu'à l'Horloge. On voit que la croix *V* sert à retenir l'extrémité *P* de l'axe, & à l'empêcher de s'incliner d'aucun côté, en conservant toujours cet axe dirigé perpendiculairement au plan du cadran de l'Horloge, & au centre de gravité de la machine; cette croix *V* est attachée par quatre vis, avec les branches 5, 6, 7, 8.

2130. Le bout supérieur de chaque verge 5, 6, &c, est attachée après la piece *T* par deux vis, & les bouts inférieurs sont fixés à la cage de l'Horloge par deux vis.

2131. *X Y Z* est la cage des balanciers de l'Horloge: le mouvement *B B* est porté par la plaque du cadran *A A*; & celle-ci est fixée par quatre vis sur deux ponts opposés *C C*. *D D*, *E E* sont les deux balanciers suspendus l'un & l'autre, comme celui *D D*, par la suspension à ressort *r*; *F F* est le bout de la verge de compensation; le levier *s t* mobile en *s*, porte le bout *u* qui appuie sur le bout *x* de cette verge; l'autre bout *t* du levier agit sur le rateau *y* du spiral *G G*, pour compenser les effets du chaud & du froid. *H H* est la partie non dentée de la roue portée par le balancier *D D*; l'autre roue portée par le balancier *E E*, n'est pas vue dans la fig. de la Planche XXX.

2132. Nous venons de décrire particuliérement ce qui concerne la suspension, & de donner en gros une idée de l'Horloge; il faut entrer maintenant dans les détails qu'exige cette machine, pour être conçue.

2133. La fig. de la Planche XXXI représente la cage ou chassis des balanciers, lorsqu'on ôte le mouvement & la suspension de l'Horloge. Le chassis *A B C D* est fait d'une seule piece de cuivre fondu; les montants tiennent lieu de piliers, & s'élevent perpendiculairement à la base *E F*; ces montants sont terminés par des bouts taraudés qui passent à travers les trous faits aux branches *a*, *b*, *c*, *d* de la platine supérieure *G*; ces vis entrent dans les écrous 1, 2, 3, 4, & fixent soli-

dement le chaffis inférieur & la platine *G*, ce qui forme la cage dans laquelle fe meuvent les balanciers *H, I*.

2134. Les ponts *e f, g h* font attachés chacun par deux vis à la platine *G a b c d*; ces ponts fervent à recevoir la plaque du cadran qui s'attache deffus au moyen de quatre vis qui entrent fur les bouts fupérieurs 5, 6, 7, 8; la cage du mouvement entre dans l'intervalle *f g* que forment ces ponts.

2135. L'ouverture *G* fert à laiffer defcendre le pont & la fourchette d'échappement, dont le rouleau porté par la fourchette va agir fur la fente *K* de la roue portée par le balancier *I*, ce qui entretient le mouvement des balanciers. Les ponts *e f, g h* fervent auffi à porter la fufpenfion des balanciers : pour cet effet le milieu de chaque pont eft percé en *i* & *l* d'un trou, à travers lequel paffe une piece ronde ou broche qui porte une bafe, pour la retenir fur le pont; le bout de cette piece eft fendu par le milieu, de maniere à y recevoir les plaques de cuivre qui attachent le bout fupérieur des refforts de fufpenfion *m*, *n*; ces plaques & la piece qui traverfe le pont font affemblées par une cheville. Pour empêcher que l'action des refforts ne faffe tourner les broches, les petits coquerets *i*, *l*, preffent ces broches contre le pont, au moyen des vis qui les attachent.

2136. Le bout inférieur des refforts eft attaché de la même maniere que celui fupérieur, à une petite broche fixée fur les plaques *o*, *p*; ces plaques font affemblées par deux vis, avec des affiettes fixées fur les axes des balanciers (ces affiettes font logées dans l'épaiffeur de la platine *G*;) ainfi toute la pefanteur des balanciers eft fupportée par les refforts de fufpenfion *m*, *n*.

2137. Pour empêcher que les axes des balanciers ne puiffent s'éloigner ou s'approcher, ni changer de pofition, les axes des balanciers font terminés par des pivots qui roulent dans des trous faits à deux traverfes *q* attachées à la platine *G* avec deux vis; les pivots inférieurs des balanciers roulent dans des trous faits à la platine *E F* (*) : or comme par la difpofi-

(*) Les deux vis qui affemblent les refforts de fufpenfion avec les axes de balancier, fe meuvent dans l'ouverture de la platine fur les côtés des traverfes; on voit que

tion de la ſuſpenſion l'horloge doit toujours être ſenſiblement horizontale, & que les plans des balanciers ſe meuvent horizontalement, on voit que le frottement ſur la circonférence des pivots ſera infiniment petit. Nous avons déja parlé des moyens que nous avons employés pour le réduire encore, en employant des agathes percées : nous expliquerons ci-après la diſpoſition de toute cette partie de la ſuſpenſion des balanciers & des pivots.

2138. Les roues *K* & *L* ſont fixées chacune par deux vis ſur les aſſiettes des axes des balanciers ; ces roues ſon dentées chacune du tiers du tour ; elles s'engrenent pour que le mouvement de l'une ſoit communiqué à l'autre, & détruire, par l'oppoſition de leur chemin, l'effet des agitations du vaiſſeau ; une de ces roues eſt d'acier, & l'autre de cuivre ; elles ſont fendues ſur le nombre 150, afin que l'engrenage en ſoit plus parfait ; il n'y a que 50 dents de fendues, le reſte étant inutile. Elles ſont entieres, pour ne pas changer l'équilibre.

2139. Chaque balancier a un pied de diametre, & peſe *3* liv. *9* onces *6* gros ; les balanciers ſont fixés ſur leurs axes, chacun par deux vis qui entrent dans des trous faits aux aſſiettes.

2140. Le bout inférieur de chaque axe de balancier porte une virole qui tourne à frottement ; ces viroles reçoivent & fixent les bouts intérieurs des reſſorts ſpiraux *M*, *N* ; les bouts extérieurs des ſpiraux ſont attachés aux pitons *O*, *P*, dont les baſes ſe fixent à la platine *EF*, chacune par deux fortes vis ; les pitons ſont formés par les baſes *O*, *P*, & par une partie qui s'éleve perpendiculairement ; celle-ci eſt percée de deux trous, dans leſquels entrent deux vis *r*, *r* ; le bout extérieur du reſſort paſſe entre cette partie du piton & la plaque *Q*, ce qui le fixe très-ſolidement avec le piton ; les vis *r* ſont aſſez diſtantes entr'elles, pour permettre au reſſort, (avant de le ſerrer), de prendre ſa ſituation naturelle ſans être bridé. Les viroles

les balanciers ne peuvent pas décrire de fort grands arcs ; car ces traverſes l'empêcheroient, ainſi que les barettes des balanciers ; ils en pourroient décrire de près de 120 degrés, mais la plus grande étendue des arcs qu'ils parcourent eſt au plus de 30 degrés.

ſont ajuſtées de la même maniere, & avec les mêmes précautions : je les détaillerai ci-après. Les baſes des pitons *O*, *P* ſont fendues par deux rainures, qui permettent à ces pitons de s'écarter ou approcher du centre des balanciers; c'eſt pour permettre au ſpiral de prendre ſa poſition naturelle, & de n'être pas contraint par les pitons; on n'arrête ceux-ci ſur la platine, qu'après que l'on a laiſſé agir le ſpiral qui porte le piton à la diſtance & au point qui lui convient. La piece *R* eſt ce que j'appelle le *pince-ſpiral;* c'eſt une fourchette d'acier trempé, qui tient lieu des chevilles miſes au rateau d'une montre : ce pince-ſpiral eſt rivé ſur une petite plaque de cuivre qui s'attache ſur le rateau *S* au moyen d'une vis; le trou de cette plaque eſt aſſez grand pour permettre à cette plaque de prendre la diſtance convenable, pour qu'elle ne gêne pas le ſpiral, lorſque celui-ci eſt arrêté; alors on ſerre la vis, & cette piece reſte fixe après le rateau *S;* ce rateau ſe meut près du centre du balancier en décrivant la courbure du ſpiral; c'eſt ce rateau qui ſert à régler l'Horloge; la vis 10 ſert à fixer le rateau avec la platine *E F*; il porte un index qui marque ſur la platine le nombre de degrés dont on l'avance ou retarde; ces degrés ſont gravés ſur le plan *F* de la platine.

2141. Le rateau *T* porte, comme celui *S*, un pince-ſpiral ajuſté de la même maniere; le centre de mouvement du rateau *T* eſt placé à côté de celui du balancier *H*, afin de ſuivre exactement la courbure du ſpiral *M*, & qu'en avançant ou reculant ce rateau, le ſpiral n'en ſoit pas gêné ; ce rateau ſe meut ſur le plan de la platine *E F*, & entre la *couliſſe V V*, & très-juſte, ne pouvant que tourner librement ſur lui-même; enſorte que l'action du ſpiral ſur le pince-ſpiral ne peut faire monter ni deſcendre le plan du rateau qui reſte très-fixe : c'eſt ce rateau qui ſert à compenſer les effets du chaud & du froid ſur l'Horloge de la maniere que je vais l'expliquer.

2142. Le plan de la platine *E F* eſt prolongé de *V* en *X*. Sur le bout *X* s'élevent quatre piliers *x*, *y*, qui forment, avec les platines *X*, *Y*, une cage dans laquelle ſe meut en *z* le levier *z* 12 : entre les piliers *x*, *y* & la platine ſupérieure *Y*, eſt attaché

chée le bout *A A* de la verge à chaſſis de compenſation *A A*, *B B*, *C C*; ce bout *A A* eſt percé de deux trous, à travers deſquels paſſent deux fortes vis 15, l'endroit de ces vis qui entre dans la platine *Y*, eſt conique, ainſi que ceux des vis 16, 17, ce qui rend cette platine très-inébranlable & ſolidement arrêtée, enſorte qu'elle ne puiſſe céder à aucun effort: la verge du milieu de cuivre *a a* porte par ſon extrémité une piece *b b* prolongée juſqu'au dehors du chaſſis, ſur laquelle agit, comme on l'a vu (*Pl. XXX.*), un talon porté par le levier z, 12; le grand bout 12 de ce levier porte une cheville qui entre dans une rainure faite à un bout 13 du rateau de compenſation *T*: ainſi lorſque la chaleur agit ſur les verges de compenſation *A A*, *BB*, *CC*, elle dilate différemment les verges d'acier & celles de cuivre, enſorte que l'excès de dilatation du cuivre ſur l'acier fait remonter la partie *b b* de la verge de cuivre du milieu vers z; & ce bout agiſſant ſur le talon du levier, il fait parcourir un grand arc à l'extrémité 12; & celui-ci agiſſant ſur le rateau de compenſation, ce rateau avance & rétrograde ſelon l'action du chaud & du froid ſur les verges. Nous expliquerons dans le Chapitre ſuivant comment nous ſommes parvenus à trouver les dimenſions des verges & leviers de compenſation, pour que l'action du chaud & du froid ſur ces verges compenſe celle qu'elle produit ſur les ſpiraux & les balanciers.

2143. Le reſſort *Z* preſſe contre le centre du rateau de compenſation, afin que le talon du levier agiſſe continuellement contre la partie *b b* de la verge de cuivre *a a*.

2144. *D D*, *E E* ſont deux ponts qui ſervent à élever le bout *B B* des verges à la même hauteur, au-deſſus de la platine, que les piliers *x*, *y* élevent le bout *A A*; ces ponts ſervent auſſi à empêcher que cette verge ne puiſſe s'élever plus haut, ni s'écarter de côté ou d'autre, en ſuppoſant que l'Horloge fût agitée.

Planche XXXII.

2145. La fig. 1 repréſente le plan de la platine ou chaſſis inférieur des balanciers, lorſqu'on a ôté les balanciers & la platine de deſſus. *A B C D* eſt ce chaſſis ; *a*, *b* ſont les trous dans leſquels entrent les axes des balanciers ; les balanciers ſont ponctués en *E* & *F*, pour marquer leurs projections ſur ce plan ; *G*, *H* ſont les roues d'engrenage projettées, comme les balanciers ; *I L c d e f* eſt le premier chaſſis d'acier, ou verge de compenſation ; le bout *I* de ce chaſſis eſt arrêté, comme je l'ai dit, par les vis 1, 2, qui entrent dans les piliers formés ſur le plan ou platine prolongée *M* ; ce chaſſis eſt retenu entre ces piliers & la platine *N* par la preſſion de ces vis ; le chaſſis *I c d e L f* eſt d'acier, & d'une ſeule piece ; il paſſe entre les ponts 3, 4 vus en perſpective (*fig.* 2) ; ce chaſſis ne peut monter ni deſcendre, ni s'écarter, mais ſeulement ſe mouvoir ſelon ſa longueur ; & comme ce chaſſis eſt fixé en 1, 2, l'action de la chaleur le fera alonger en éloignant les points *I* & *L* ; *g h* & *i l* ſont deux verges de cuivre de même longueur, dont les bouts *h*, *l* poſent ſur le bout *ef* du chaſſis ; ainſi la chaleur aura auſſi fait écarter les extrémités *h*, *l* des verges de cuivre du point *L* ; mais comme le cuivre s'alonge plus que l'acier dans le rapport de 121 à 74, on voit que les bouts *i*, *g* ſe ſeront au contraire approchés de *I* : *m m n n* eſt un ſecond chaſſis d'acier qui porte deux talons formés par un levier mobile en 5 ſous la fourchette *O* ; ces talons poſent ſur les bouts *g*, *i* des verges de cuivre : ce chaſſis eſt donc remonté par l'excès de dilatation de ces verges : ce chaſſis ſe dilate auſſi ; mais comme il porte deux verges de cuivre correſpondantes *op*, *op*, dont les bouts *p p* poſent ſur le bas du chaſſis *n n*, & que ces verges de cuivre s'alongent dans un plus grand raport ; les bouts *o*, *o* ſe rapprochent plus de *L*, que ceux *n n* ne s'en ſont écartés ; enfin les bouts *o*, *o* des verges de cuivre agiſſent ſur les talons du troiſieme chaſſis d'acier, *q q r r* ; le bout *r r* de ce chaſſis reçoit la verge de cuivre *S t*, dont la dilatation étant plus

grande que celle du troisieme chassis, remonte & s'approche plus de *N*; ainsi le point *t* est remonté devers *N* de tout l'excès de la dilatation des verges de cuivre sur la dilatation de celles d'acier.

2146. La piece *O* est une fourchette de cuivre vue en perspective (*fig.* 3) laquelle s'attache sut la verge de cuivre *S*, afin de transporter le mouvement des verges jusqu'au dehors du chassis, pour agir sur le talon *u* du levier de compensation *u P* mobile en *x*; ce levier est vu (*fig.* 4); il porte en *P* une fente pour y faire mouvoir à coulisse la broche 6, que l'on fixe au point convenable, au moyen de l'écrou 7; cette broche du levier entre dans une fente faite au bras *Q* du rateau *R* de compensation.

2147. Les rateaux *R* & *S* se meuvent hors du centre des balanciers, comme on le voit par la fig. 1; les trous des rateaux roulent sur des canons faits aux ponts *T*, *V*; *T* (*fig.* 8) représente un de ces ponts vu en perspective; le rateau *R* se meut juste & librement sur la platine, & entre la coulisse *X* qui est graduée en degrés du cercle; le rateau *R* est vu en perspective (*fig.* 5); le talon *y* qu'il porte, sert à faire appuyer dessus le petit levier mobile *z* (*fig.* 1), sur lequel agit le ressort *Y*; je n'ai pas fait agir immédiatement le ressort sur le bras *y* du rateau, afin de rendre son action plus égale; le ressort est très-fort, & agit sur le petit bras du levier *z*; ainsi pendant que *y* parcourt un grand espace, le ressort qui agit sur un levier quatre fois plus petit, en parcourt quatre fois moins, il change donc infiniment peu de force; cette action du ressort doit être assez grande à cause des frottements du rateau, & de la justesse qu'il exige dans sa coulisse; & comme le levier *x* P est environ 17 fois plus long que celui *x u*, on voit que si cette action du ressort est de demi-livre au point 6, elle est 17 fois plus grande en *u*; par conséquent l'action qui produit la dilatation sur les verges auroit à vaincre un effort de 8 liv. $\frac{1}{2}$. C'est pour résister à cet effort du levier que j'ai ajouté les vis 8, 9, afin d'éviter la flexion des platines; & j'ai rendu les bouts des chassis très-larges pour éviter toute flexion.

2148. La fig. *6* repréſente un des bouts *m m*, ou *q q* des chaſſis d'acier; *A* & *B* ſont deux fortes plaques d'acier rivées ſur l'extrémité des verges d'acier; elles ſervent à arrêter au centre *a* le levier *C*, dont les extrémités vont poſer ſur les bouts des verges *g*, *i*, ou *o*, *o* de cuivre; c'eſt pour faire agir également l'effort ſur ces verges, que je l'ai rendu mobile, au lieu de réſerver ſimplement des talons à ces verges, ce qui auroit été plus ſimple; mais on n'auroit jamais été aſſuré que les verges de cuivre correſpondantes euſſent également agi pour remonter ce chaſſis, & vaincre la preſſion du rateau de compenſation.

2149. Les traverſes 10 & 11 attachées ſur les verges de compenſation, ſont des brides pour retenir les verges enſemble de bas en haut, & de haut en bas; ainſi toutes ces verges doivent ſimplement ſe mouvoir librement, & ſelon leur longueur.

2150. Les pieces 12 & 13 (*fig.* 1) ſont les pitons des ſpiraux vus en plan.

2151. *W* (*fig.* 9) repréſente le pince-ſpiral vu en perſpective: *a* eſt la virole qui attache le pince-ſpiral avec le rateau, & *b* eſt la vis.

2152. La couliſſe *X* eſt vue en perſpective (*fig.* 10); elle eſt formée de deux pieces; l'une *c d* eſt d'acier, & un peu plus épaiſſe que le rateau; & l'autre *e f* eſt de cuivre, & plus mince, & aſſez large pour recouvrir le rateau.

2153. *A* (*fig.* 7) repréſente une des agathes percées pour y laiſſer rouler les pivots inférieurs des balanciers; ces agathes ſont coniques en dehors; elles entrent dans des trous de même figure faits aux centres *a* & *b* (*fig.* 1) des balanciers; elles ſe placent dans l'épaiſſeur de la platine, après laquelle elles ſont retenues par deſſous au moyen d'un coqueret *B*; le ſommet du cône vient à fleur du plan ſupérieur de la platine.

PLANCHE XXXIII.

2154. La fig. 1 repréſente un des ponts de ſuſpenſion

d'un balancier avec le ressort de suspension, & l'axe tout monté, comme il est dans la cage, à l'exception du balancier, du spiral, & de la roue d'engrenage que l'on a ôtée pour mieux faire voir tous les ajustements de cet axe, de la suspension & de la virole du spiral.

2155. *AA* est le pont, dont la traverse est percée dans le milieu pour y ajuster la broche *B* vue développée (*fig.* 2); elle est rendue fixe avec la traverse au moyen du coqueret *a*: *C*, est le ressort de suspension, vu séparément (*fig.* 2); à chaque bout de ce ressort sont rivées très-solidement deux plaques de cuivre; ces plaques & le ressort sont percés de chacun 3 trous, dans lesquels sont rivées 3 chevilles d'acier; l'extrémité des plaques de cuivre est percée d'un trou qui sert à l'assembler par une goupille avec la broche *B*, dont la fente sert à y loger très-juste l'épaisseur des plaques; le bout inférieur du ressort s'ajuste avec la broche *D*, de la même maniere que celle supérieure avec la broche *B*; la broche *D* est rendue fixe après la plaque *E*, au moyen de deux chevilles qui traversent l'assiette de la broche & la plaque *E*; le trou de cette plaque qui reçoit la broche, doit être parfaitement concentrique avec l'axe du balancier, & la broche *B* doit être de même placée parfaitement dans l'axe prolongé du balancier; c'est-à-dire, qu'il faut que les trous des pivots & ceux des broches soient exactement dans la même ligne, sans quoi la pesanteur du balancier se porteroit contre les côtés des trous des pivots, & causeroit un frottement, & qu'en supposant ces balanciers mis bien horizontalement, toute leur pesanteur ne seroit pas supportée par le ressort de suspension, mais en partie par les pivots, ce qui seroit un très-grand défaut, d'ailleurs facile à éviter.

2156. La plaque *E* (*fig.* 1) est assemblée avec l'assiette *F* fixée à l'axe, au moyen des deux vis 1,2 diamétralement opposées; c'est par cet ajustement que toute la masse du balancier est supportée par le ressort; le pivot supérieur *b* entre dans le trou de la traverse *G* (*fig.* 3); cette traverse est attachée avec deux vis à la platine supérieure, dont *A* représente une portion: lorsque les balanciers sont leurs vibrations, les vis 1, 2

(*fig.* 1) se meuvent autour de la traverse (*fig.* 3), & le pivot sert simplement à empêcher que l'axe du balancier ne s'écarte de la direction *a b c* (*fig.* 1).

2157. *H* est l'assiette qui sert à fixer la roue d'engrenage des balanciers ; cette roue est rendue fixe après l'assiette au moyen de deux vis, afin de pouvoir la démonter ; mais pour cela il est nécessaire que l'assiette & le canon *F* se démontent facilement de dessus l'axe ; c'est pour parvenir à ce but que ce canon *F* s'ajuste simplement à frottement, & qu'il est retenu par une goupille *d* qui le traverse en même-temps que l'axe.

2158. L'assiette *I* sert à fixer le balancier au moyen de deux vis, afin de pouvoir le démonter; alors on ôte la virole de spiral *K L M N*, vue développée (*fig.* 4); cette virole est formée de quatre pieces : la premiere *L* est le canon, lequel est fendu pour entrer à force sur la partie *L* de l'axe, vu (*fig.* 5) & produire le frottement; elle s'arrête avec une vis qui la presse contre le creux fait en *m* (*fig.* 4) à la seconde piece; le bout inférieur *n* sert à maintenir cette piece sur l'axe, & sans changer de direction; la troisieme piece *K* sert à presser le ressort spiral contre la piece *M*, & à le fixer très-solidement au moyen de deux vis 3,4; la quatrieme piece *N* (*fig.* 1) est fixée après celle *M* en *o* (*fig.* 4) au moyen de deux vis; c'est ce bras *N* (*fig.* 1) qui sert à faire tourner la virole de spiral *K L M*, & à amener le spiral au point convenable pour l'échappement.

2159. La fig. 5 représente l'axe du balancier démonté pour faire voir les ajustements des pivots : le canon *F* est percé d'un trou bien fait, & de grosseur convenable pour entrer très-juste sur l'extrémité *e* de l'axe, lequel entre jusqu'au milieu de ce canon; ils sont rendus fixes, comme j'ai dit, par la cheville *d*; sur l'autre partie du trou entre à frottement le pivot *b* chassé assez à force pour y tenir très-solidement, & de maniere cependant à pouvoir l'ôter pour en changer au cas qu'il ne fût pas de bon acier, ou qu'il vînt à casser.

2160. Le canon *O* est percé de même que *F*, d'un trou bien fait dans toute sa longueur; la partie supérieure de ce canon entre à force sur le bout *f* de l'axe, & l'autre partie du

trou ſert à y chaſſer à force le pivot inférieur *c*.

2161. La fig. 6 repréſente la barrette *G* de la fig. 3, vue de profil, & avec l'ajuſtement de l'agathe ; *G* eſt la barrette ; *a*, l'agathe : celle-ci entre dans le trou conique fait au milieu de la barrette ; & *b* eſt le pont qui fixe l'agathe avec la barrette *G*.

2162. La fig. 7 repréſente le calibre du mouvement de l'Horloge : je n'entrerai pas dans le détail de ce mouvement vu de profil (*fig.* 8) ; il eſt à ſecondes, & le moteur eſt un reſſort corrigé par une fuſée, avec la même diſpoſition qu'une montre ; la diſpoſition des ſecondes eſt ſemblable à celle de la pendule décrite Chap. III, & l'échappement & la roue ſont vus (*fig.* 9) : *A* eſt la roue d'échappement, les dents s'élevent perpendiculairement au plan de la roue ; j'ai donné cette diſpoſition à la roue pour faciliter les grands arcs ; l'ancre d'échappement *B* eſt pareil à celui iſochrone décrit (art. 1324) & ſuivants ; la fourchette *C* eſt mobile en *D*, pour mettre la piece dans ſon échappement au moyen de la vis de rappel *a* : cette diſpoſition eſt décrite Part. I, Chap. III, (78).

2163. La tige *E* (*fig.* 9) qui communique avec la roue d'engrenage des balanciers, pour entretenir le mouvement du régulateur, ſe meut en couliſſe le long de la fourchette *C* ſur la rainure *b* ; c'eſt pour faire décrire de plus grands ou petits arcs aux balanciers, ſelon qu'elle agit plus près ou plus loin du centre du balancier.

2164. *F* (*fig.* 9) eſt un rouleau d'acier dont le trou eſt formé par un canon de cuivre qui entre juſte ſur la tige *E* ; ce rouleau ſert à réduire le frottement qui ſe feroit ſur la fente de la roue d'engrenage ; la petite virole *c* eſt arrêtée après la tige par une goupille pour retenir le rouleau ; l'écrou *d* ſert à fixer la tige au point convenable ſur la fourchette ; la fourchette *C* eſt vue de profil (*fig.* 8) ; la tige d'échappement *a b* ſe trouve placée devant la tige de la roue d'échappement *A* ; la fourchette *C* & le rouleau *F* devroient être dirigés ſelon la même direction de ces tiges ; mais cette fourchetre eſt vue, comme ſi on l'avoit fait tourner en avant d'un quart de tour ; c'eſt pour la faire voir de profil, car autrement on ne l'auroit pu diſtin-

guer, puisqu'elle seroit vue selon sa longueur derriere l'assiette *b*; *B* est le coq de la tige d'échappement; il a cette longueur, afin de faire descendre le rouleau pour aller agir sur la roue d'engrenage du balancier : j'ai déja dit que ce pont & le rouleau passent dans l'ouverture faite à la platine supérieure de la cage des balanciers; une partie de cette ouverture est représentée en *G* (*fig.* 3); *f*, *g*, *e*, (*fig.* 8) représente la détente qui sert à faire marcher l'Horloge pendant qu'on la remonte : cette détente est vue de profil; je ne l'ai pas décrite ici, pour ne pas répéter ce que j'en ai dit (71) Part. I, & (2042) Part. II. Le reste du mouvement n'a rien de particulier qui exige de s'y arrêter; ces différentes parties sont déja traitées ci-devant.

CHAPITRE XLIII.

Détail de main d'œuvre, Calcul & Expériences concernant l'Horloge Marine.

Des Ressorts spiraux des Balanciers.

2165. AYANT plié en spiral une lame d'acier bien battue à froid, & appliqué ce spiral au balancier avant de le tremper; le balancier suspendu par son ressort de la maniere que je viens de l'expliquer, & les pivots roulant dans les trous des agathes, a fait 141 vibrations en deux minutes; le spiral étoit arrêté par ses deux extrémités : ayant fait tremper ce ressort, je l'ai laissé de toute sa dureté, je l'ai appliqué sur le balancier, & arrêté exactement au même point où il étoit avant de le tremper; il a fait faire 136 vibrations au balancier en 2 minutes; c'est-à-dire, qu'il paroît par cette expérience que l'acier trempé a moins de force que lorsqu'il est battu à froid; mais ce changement de force doit être causé par le changement

ment de courbure du ſpiral par la trempe ; j'ai fait revenir le ſpiral en l'échauffant, juſqu'à ce qu'il fût bleu ; appliqué au balancier, celui-ci a fait 138 vibrations en 2 minutes.

2166. Le reſſort ſpiral dont je viens de parler étant trop fort, j'en ai fait exécuter un autre, dont la lame a 22 pouces de longueur, 7 lig. $\frac{9}{12}$ de largeur, & $\frac{5}{12}$ de ligne d'épaiſſeur, l'acier bien battu à froid ; cette lame étant calibrée & polie, je l'ai pliée en ſpirale, faiſant quatre tours. Pour la plier je me ſuis ſervi de gros arbres de faiſeurs de reſſorts ; j'ai enſuite ouvert les tours de lames, pour laiſſer entr'elles un intervalle égal. Pour empêcher que la trempe ne dérangeât la courbure du ſpiral, j'ai fait, à travers de deux bouts de reſſort, pluſieurs fentes qui ſont paralleles entr'elles, comme les lames du ſpiral ; ces deux bouts ou brides étant placés en croix, l'un d'un côté, & l'autre de l'autre du ſpiral, contiennent les lames du ſpiral, & l'empêchent de ſe déranger en trempant, & elles contiennent les lames du ſpiral parfaitement dans le même plan: j'ai arrêté les deux brides par un fil de fer, & fait chauffer le tout dans un fourneau à reverbere, dont ſe ſervent les faiſeurs de reſſorts ; ils poſent leurs reſſorts ſur une plaque mobile qu'ils font tourner dans le feu, afin que le reſſort prenne un égal degré de chaleur dans toute ſa longueur (1267) ; cela fait, je l'ai trempé dans l'huile, il a pris un égal degré de dureté, qui eſt parfaitement le même dans toute ſa longueur ; j'ai enſuite poli ce ſpiral avec de l'émeri & un bois mince, ayant attention à ſupporter l'endroit ſur lequel j'appuiois pour ne pas caſſer le reſſort.

2167. J'ai fait revenir le reſſort, en le poſant ſur une plaque de fer miſe ſur du charbon ; en retournant le reſſort de côté & d'autre, il a pris une couleur bleue fort égale.

2168. Je ne crois pas qu'il ſoit inutile d'entrer dans ces détails de pratique, puiſque c'eſt par de pareilles opérations que l'on parvient à la perfection ; car, par rapport à ce ſpiral, ſa perfection eſt très-eſſentielle pour la juſteſſe de l'Horloge, & on ne ſeroit jamais parvenu à plier un reſſort trempé, en lui donnant une courbure ſpirale. Les faiſeurs de reſſorts ne

parviennent à plier leurs ressorts au centre, qu'en les rendant fort mous, & d'ailleurs le degré de dureté qu'ils donnent à leurs ressorts, est fort au-dessous de celui que j'ai donné aux spiraux de balancier; je les aurois même laissés de toute leur dureté, si je n'avois craint qu'en nettoyant la machine, quelque mal-à-droit ne les eût cassés, car ces ressorts ont très-peu de mouvement, pour pouvoir casser seuls en vibrant; enfin j'ai observé à différentes reprises qu'un ressort étant revenu d'un bleu très-vif, a plus d'élasticité.

Des Agathes dans lesquels roulent les Pivots de Balanciers.

2169. J'ai fait percer par un Lapidaire des agathes sardoines; ensuite j'ai poli les trous avec une attention extrême. Pour cet effet, j'ai commencé par les bien dresser, en faisant rouler un petit arbre lisse dans le trou, avec de l'émeri; lorsqu'ils ont été parfaitement adoucis, j'ai tourné les pierres avec une pointe de diamant, afin de la rendre bien ronde pour ne pas changer le centre du balancier, & conique pour qu'elle soit retenue par le trou fait à la platine; j'ai enfin poli les trous de ces agathes, en faisant rouler une broche d'étain presque cylindrique, c'est-à-dire, de la figure de l'arbre lisse qui a formé le trou, & je mettois du tripoli sur la broche d'étain: je suis ainsi parvenu à polir parfaitement ces trous.

2170. Les agathes ainsi disposées, & ajustées comme nous avons dit ci-devant, & les pivots des balanciers terminés avec beaucoup de soin, j'ai mis en place un balancier, avec sa suspension & le ressort spiral; dans cet état, les vibrations du balancier qui sont d'une seconde, se font très-librement; car ayant fait décrire des arcs de 30 degrés, le balancier libre s'est mu pendant plus de 30 minutes.

2171. J'ai terminé le régulateur de mon Horloge marine, composé de deux balanciers parfaitement de même grandeur, poids, &c, portant l'un une roue dentée de cuivre, & l'autre une d'acier, toutes deux de même diametre (4 pouces) & fendue sur 150 : l'engrenage est très-bien fait,

les pivots roulant dans des agathes ; ces balanciers suspendus par deux ressorts semblables, & ayant chacun un spiral fait, comme je l'ai expliqué ; enfin tout ce qui concerne le régulateur, terminé avec des soins extrêmes, les balanciers d'équilibre, &c. Dans cet état, j'ai mis les deux balanciers dans la cage avec leurs suspensions, mais sans ressorts spiraux, afin de voir si des mouvements de rotation quelconque, donnés à la machine, pourroient les faire mouvoir : je l'ai donc agitée avec beaucoup de force, en faisant tourner la cage sur elle-même ; mais les balanciers sont toujours restés immobiles : j'ai ensuite mis séparément chaque balancier avec son spiral, afin de le régler, de maniere que ses vibrations soient d'une seconde, & qu'étant adaptés ensemble, ils fassent leurs vibrations, comme s'ils les faisoient seuls & librement : ayant ainsi réglé chaque balancier, je les ai remontés tous deux, & les ai mis en mouvement ; leurs vibrations sont d'une seconde, & ils se meuvent aussi librement qu'ils le faisoient séparément, ce qui prouve que l'engrenage ne cause aucun frottement ; en cet état, j'ai fortement agité la machine, & n'ai point apperçu de changement dans les vibrations du régulateur.

2172. Nous observerons ici qu'il faut avoir attention lorsqu'on remonte les balanciers, à mettre les ressorts spiraux dans leur repos, c'est-à-dire, que les balanciers étant arrêtés, les ressorts spiraux ne soient point tendus, car cet état forcé des ressorts ôte la liberté des vibrations. Pour éviter ces défauts, lorsque les balanciers sont remontés, j'ôte les vis qui arrêtent les pitons, & lorsque les balanciers ont la direction requise pour que l'entaille de la fourchette se présente convenablement, je tourne les viroles de spiral jusqu'à ce que ces pitons s'arrêtent librement sur les trous des vis qui servent à les fixer : en cet état on attache les vis, & on fixe les pitons. Cette observation doit servir particuliérement lorsqu'on exécute une telle machine ; car dès qu'elle est terminée, on n'a jamais besoin de déranger les ressorts ; il n'est besoin que de mettre les balanciers aux repaires qui doivent être marqués sur leurs roues d'engrenages.

2173. J'ai donné aſſez de jeu à l'engrenage des balanciers, pour que la pouſſiere qui pourroit s'attacher aux dents, ne puiſſe pas en gêner le mouvement.

De l'Echappement.

2174. J'AI appliqué le rouage de l'Horloge à la machine entiérement finie ; il eſt conſtruit, comme on l'a vu, ayant une fourchette mobile à rouleau pour entretenir le mouvement du régulateur ; & pour éprouver l'effet de l'échappement ſur le régulateur, j'ai adapté une poulie ſur laquelle la corde de la fuſée paſſe ; cette corde portoit un poids pour agir en place du reſſort ; ainſi en augmentant & diminuant les poids, j'ai noté les changements qu'ils ont produits dans la marche de l'Horloge, ce qui m'a donné lieu à faire un échappement qui pût rendre les oſcillations du régulateur iſochrones, malgré l'inégalité de la force motrice.

I. EXPÉRIENCE.

2175. A 9 heures 57 min. j'ai mis un poids de 3 livres : le balancier décrit des arcs de 8 degrés, l'échappement eſt à repos. En 2 heures l'Horloge a avancé d'une ſeconde.

II. EXPÉRIENCE.

2176. A 11 heures 47 min. j'ai ajouté un poids de 6 livres : la force motrice eſt donc de 9 livres, ou triple de ce qu'elle étoit dans la premiere expérience ; les balanciers décrivent 20 degrés. En deux heures l'Horloge a retardé de 6 ſecondes.

2177. On trouve donc encore par cette expérience que l'échappement à repos ne corrige pas les inégalités de la force motrice ; car en triplant la force, elle retarde de 3 ſecondes par heure, tandis qu'avec trois fois moins de force elle avançoit de demi-ſeconde par heure ; ce qui produit une différence de 84 ſecondes en 24 heures.

III. EXPÉRIENCE.

2178. J'ai adapté un échappement à recul, dont le recul eſt un tiers du chemin de la roue.

A 4 heures 31 min. mis un poids de 4 livres, les balanciers décrivent 15 degrés.

En une heure l'Horloge a été conſtamment avec la *Pendule*.

Ajouté un poids de 8 livres.

En une heure l'Horloge a avancé de 6 ſecondes.

2179. J'ai refait un ancre qui a fort peu de levée, afin d'augmenter l'arc de ſupplément, & d'éviter que des ſecouſſes ſubites puiſſent arrêter la machine. Le recul de cet ancre eſt un $\frac{1}{6}$ du chemin de la roue par chaque vibration.

A 11 heures 50 min. le poids moteur, 3 livres.

Arc de levée 7 deg. $\frac{1}{2}$; arc de vibration 9 degrés.

En une heure a retardé d'une ſeconde.

Ajouté un poids de 6 livres (force motrice 9 livres).

En une heure a retardé de $\frac{1}{2}$ ſeconde.

Force motrice étant de 6 livres, l'Horloge a retardé d'une ſeconde par heure.

Remarque ſur cet Échappement.

2180. L'ancre dont nous venons de parler remplit auſſi bien qu'il eſt poſſible ce qu'on en exige; car la durée de la vibration n'a pas changé ſenſiblement en doublant la force motrice. Or les changements de la force motrice ne peuvent jamais être ſi conſidérables, puiſque le reſſort ne peut pas perdre la moitié de ſa force ; d'ailleurs il ne la perd que dans un temps très-long : nous pouvons donc conclure que les oſcillations des balanciers ſeront ſenſiblement iſochrones, malgré la petite inégalité qui ſurviendra dans la force motrice par l'épaiſſiſſement des huiles, & l'affoibliſſement du reſſort dont l'action eſt d'ailleurs rendue égale par la fuſée.

2181. Lorſque le rouleau de la fourchette eſt à égale

diſtance de ſon centre, & de celui du balancier, celui-ci décrit 20 deg. étant mu par le reſſort moteur. Nous avons examiné ſi, en éloignant le rouleau du centre de la fourchette, & laiſſant la même force motrice, cela pouvoit changer l'étendue des arcs.

L'arc de levée étoit alors de 13 deg. & les balanciers décrivent 30 deg. paſſés. Il eſt donc préférable de laiſſer agir le rouleau en ce point, puiſque la force motrice étant la même, elle communique avec le même échappement une plus grande quantité de mouvement ; cela vient de ce que l'échappement, dans le ſecond cas, parcourt un plus petit eſpace, & éprouve par là moins de frottement, quoique preſſé par la même force.

Des Verges de Compenſation pour corriger les effets du chaud & du froid ſur l'Horloge.

2182. Lorſque j'eus terminé le régulateur & le rouage de l'Horloge marine, & exécuté les rateaux & pinces ſpiraux, je fis ſubir à cette machine diverſes épreuves du froid au chaud, afin de conclure les dimenſions des verges & du levier de compenſation. Nous allons rapporter ces épreuves très-eſſentielles pour parvenir à la compoſition de cette partie de l'Horloge.

EXPÉRIENCE.

2183. L'air extérieur étant à 1 deg. $\frac{1}{2}$ au deſſous de la glace, & la couliſſe & le pince-ſpiral de compenſation étant mis en place, j'ai expoſé l'Horloge au froid avec un thermometre placé dans la boîte de l'Horloge, afin qu'il m'indiquât la température qu'elle éprouvoit.

Le thermometre étant à 0, j'ai mis l'Horloge à l'heure de ma pendule aſtronomique (la couliſſe étoit arrêtée à 3 deg.)

En une heure l'Horloge a avancé de 8 ſecondes.

Je plaçai l'Horloge & le therm. dans une eſpece d'étuve.

Le thermometre étant à 27 deg. l'Horloge a retardé de 7 ſecondes.

2184. C'eſt-à-dire, que l'Horloge étant d'abord expoſée au froid de la glace pendant une heure, & enſuite pendant le même temps à la température de 27 deg. au-deſſus, la chaleur l'a fait retarder de 15 ſecondes par heure; ceci ſervira à nous donner à-peu-près le chemin que doit faire le rateau de compenſation pour corriger cet écart; ce que j'ai trouvé de la maniere ſuivante. J'ai réglé l'Horloge dans une température conſtante, afin d'eſtimer le chemin que doit faire le rateau; enſuite j'ai fait mouvoir ce rateau en avant & en arriere, juſqu'à ce que j'aie fait avancer & retarder l'Horloge de 15 ſecondes par heure.

2185. J'ai trouvé qu'en faiſant parcourir 17 deg. au rateau, cela donnoit l'écart en queſtion, ce qui répond à 4 lignes de mouvement du pince-ſpiral. C'eſt d'après cela qu'il faut trouver les dimenſions des verges & leviers de compenſation; mais il faut trouver premiérement l'excès d'alongement des verges de cuivre ſur celles d'acier, puiſque c'eſt cet excès qui doit produire le mouvement du levier, & conſéquemment du pince-ſpiral, pour compenſer les effets du chaud & du froid.

2186. Je fis d'abord trois verges (*a*) de cuivre & autant d'acier, placées à côté les unes des autres; ce qui formoit en tout 6 branches arrangées avec des talons comme la verge de pendule décrite (1759). Quoique ces verges ne ſoient pas celles que nous avons employées, nous croyons à propos d'en rendre compte, puiſque c'eſt aux épreuves auxquelles elles ont donné lieu, que nous devons la diſpoſition actuelle de cette partie de l'Horloge.

(*a*) Je fis ces verges auſſi longues qu'il fût poſſible; & j'en augmentai le nombre juſqu'à 6, afin qu'elles ne puſſent pas être affaiſſées par la preſſion du reſſort qui agit ſur le rateau de compenſation: j'évitai de les faire trop fortes, afin que l'action du chaud & du froid agît ſenſiblement dans le même inſtant & avec le même effet ſur ces verges & ſur les ſpiraux. Je les ai donc faites minces, longues & en plus grand nombre pour éviter ces deux défauts eſſentiels; l'un d'être affaiſſées par la preſſion du reſſort, & l'autre de n'éprouver pas dans le même inſtant la différence de température.

Dimenſion des anciennes Verges.

2187. Deux verges d'acier de 18 pouces chacune, font . . . . 36 pouces
Une de 13

Pouces. 49

Deux verges de cuivre de 18 chacune. . . 36
Une de. 13

Pouces 49

Trouvons donc l'excès d'alongement des verges de cuivre ſur celles d'acier.

2188. Pour cet effet il faut réduire ces verges en lignes; on aura 49 pouces = 588 lignes. Or nous avons trouvé par nos expériences qu'une verge d'acier qui a 461 lig. (1691 & 1699) s'alonge de lig. 0 $\frac{74}{360}$, lorſqu'elle éprouve un changement de 27 deg. de température: on fera donc la proportion;
461 : 74 :: 588 : $x = \frac{94}{360}$.
On trouve donc que 588 lig. d'acier doivent s'alonger de lig. 0 $\frac{94}{360}$ en 27 degrés.

2189. On fera pour les verges de cuivre la proportion ſuivante, fondée ſur ce qu'une verge de cuivre de 461 lig. s'alonge de $\frac{121}{360}$ en 27 degrés.
461 : 121 : 588 : $x = \frac{154}{360}$.
588 lignes de cuivre s'alongent donc de lig. 0 $\frac{154}{360}$. Or lig. $\frac{154}{360}$ ſurpaſſe lig. 0 $\frac{94}{360}$ de $\frac{60}{360} = \frac{1}{6}$ de ligne; c'eſt-à-dire, que 27 degrés de température produiſent un excès d'un $\frac{1}{6}$ de ligne, dont la dilatation ou contraction du cuivre ſurpaſſe celle de l'acier : il faut donc donner des dimenſions au levier de compenſation qui ſoient telles que pendant que le petit levier ou talon qui appuie ſur la verge de cuivre, parcourt $\frac{1}{6}$ de ligne, le pince-ſpiral parcoure 24 fois plus de chemin.

2190. J'exécutai donc en conſéquence le levier de compenſation & les verges; mais l'action du rateau ſur le levier

&

& ſur les verges, les faiſoit fléchir, ainſi que le pont qui ſervoit de cage au levier ; enſorte que l'effet de la dilatation & contraction des verges s'employoit uniquement à faire courber ces verges, & à faire fléchir ce pont.

2191. Pour porter cette Horloge à ſa perfection, je pris donc le parti de faire d'autres verges avec les diſpoſitions ſuivantes que je rapporte ici, telles que je les imaginai avant de les mettre en exécution.

2192. 1°, Pour éviter la flexion des verges, je les ai diſpoſées dans un chaſſis comme celles du pendule aſtronomique, afin que l'effort ſe faſſe perpendiculairement ſans tendre à faire faire reſſort aux verges comme cela arrivoit à celles que j'avois employées ; car tout l'effort étoit employé à courber les verges, & non à les mouvoir ſelon leur longueur; par ce moyen les verges n'ont pas beſoin d'être plus fortes ; car, outre que l'effort ſe fera perpendiculairement, il ſera diviſé ſur deux verges correſpondantes, ce qui évitera & l'affaiſſement & la flexion.

2193. 2°, J'employe trois verges d'acier & autant de cuivre : il y aura donc, à cauſe des chaſſis, 12 verges ou branches à côté les unes des autres.

2194. 3°, La verge de cuivre du milieu doit avoir deux largeurs, afin que toutes les parties éprouvent le même effort.

2195. 4°, Pour être aſſuré que l'effort ſe diviſe également ſur les verges correſpondantes, j'ai placé deux leviers mobiles aux chaſſis intérieurs.

2196. 5°, Les verges de compenſation ſeront placées à plat ſur la platine, & fixées avec elle au moyen de deux fortes vis : j'éviterai par ce moyen le pont qui fléchiſſoit.

2197. 6°, Le levier de compenſation ſera mis en cage entre la platine & une petite platine qui arrête la verge de compenſation : cette cage ſera rendue fixe par 4 fortes vis, ce qui rendra inébranlable ce levier & la verge qui ne pourront fléchir ni s'écarter l'un de l'autre ; défaut eſſentiel à prévénir.

2198. 7°, La verge de cuivre du milieu portera une

fourchette arrêtée par deux vis, laquelle passant par-dessus les leviers des chassis ira poser hors du grand chassis sur le talon du levier de compensation.

2199. 8°, Le levier de compensation doit être fort & solide, afin qu'il ne puisse fléchir : le talon qui appuie sur les verges de compensation, doit aussi être fort; & fixé très-solidement.

2200. 9°, La cheville portée par l'extrémité du grand levier doit être mobile en coulisse, & arrêtée par un écrou, afin d'augmenter ou diminuer l'effet des verges de compensation : ainsi tout ce méchanisme étant achevé, nous ferons éprouver à l'Horloge différents degrés de température, & nous ferons mouvoir cette cheville jusqu'à ce que l'Horloge marche uniformément pendant toutes les épreuves qu'elle subira.

Dimension actuelle des verges de compensation.

	pieds	pouces	lignes
2201. Le grand chassis d'acier . . .	2	0	6
Deuxieme chassis d'acier	1	11	6
Troisieme chassis d'acier	1	10	9
	5	2	9

	pieds	pouces	lignes
2202. Verges de cuivre.			
Premiere	1	11	10
Seconde	1	10	11
Troisieme	2		
	5	2	9

Largeur des verges, 5 lignes; Épaisseur, 4 lignes.

2203. Il faut trouver l'excès d'extension des verges de cuivre sur celles d'acier, afin de déterminer les dimensions du levier de compensation, en employant la même méthode des articles (2188 & 2189).

On trouve que l'alongement de l'acier feroit de lig. 0 $\frac{138}{360}$ pour 27 degrés de température; & celui de cuivre

de lig. o $\frac{222}{360}$ exposé à la même température : l'excès de dilatation du cuivre sur l'acier est donc de $\frac{84}{360}$, c'est-à-dire, fort près d'un quart de ligne. Or nous avons vu que l'Horloge éprouvant une différence de 27 degrés dans la température, le pince-spiral devroit parcourir 4 lignes pour corriger les impressions que cause cette différence : réduisant 4 lig. en 360emes, & divisant par 84, on trouve pour quotient 17 $\frac{1}{7}$, c'est-à-dire, qu'il faut que les dimensions du levier de compensation soient telles que le pince-spiral fasse 17 fois $\frac{1}{7}$ plus de chemin que le talon qui appuie sur la verge de cuivre du milieu des verges de compensation, ce qui compensera les effets du chaud & du froid. Ce talon du levier est fixé à 7 lignes du centre, & la cheville du grand levier est distante de 119 lignes, & agit à la même distance du centre du rateau que le spiral : on peut changer, comme j'ai dit, la position de cette cheville ; pour cet effet, il faut éprouver l'Horloge par différentes températures.

I. EXPÉRIENCE.

2204. L'Horloge marine étant achevée de la maniere que je viens de l'expliquer, je l'ai réglée à-peu-près dans une température moyenne: elle retardoit de 25 secondes en 24 heures, exposée à 8 degrés du thermometre. J'ai ensuite placé l'Horloge dans une étuve, dont la température étoit de 19 deg. elle a avancé d'une seconde en 7 heures; au lieu que si elle eût été à 8 deg. elle auroit retardé de 7 secondes.

REMARQUE.

2205. Cette expérience sert à prouver la bonté du méchanisme, puisque la chaleur fait actuellement avancer l'Horloge; au lieu que sans la compensation, elle auroit retardé de 10 secondes par heure, exposée à 19 deg. de température.

II. EXPÉRIENCE.

2206. Après avoir rapproché du centre du levier de compensation la cheville mobile, j'ai exposé l'Horloge marine à divers degrés de température ; elle avançoit constamment d'une seconde, soit qu'elle ait été exposée au froid de 4 degrés au-dessous de la glace (le 2 Mars 1762), soit que l'ayant mise dans mon cabinet, le thermometre soit monté à 18 degrés au-dessus de la glace. Enfin depuis le 2 Mars jusqu'aujourd'hui 20 Juin, j'ai continué à faire marcher l'Horloge par les alternatives de froid & de chaud que nous avons eu ; elle a toujours avancé selon la même progression d'une seconde par heure, c'est-à-dire, qu'elle a été avec une extrême justesse ; car je suis le maître de l'empêcher d'avancer, il ne faut que toucher au rateau qui sert à la faire avancer ou retarder ; mais il me suffit pour le moment actuel qu'elle marche avec uniformité. J'ai donc mis mon Horloge marine en état d'être éprouvée sur mer ; & c'est ce que je me propose de faire moi-même, dès que les circonstances seront plus favorables à de telles épreuves.

2207. Je n'ai rapporté ici que le précis des expériences que j'ai faites pour parvenir à donner à mon Horloge marine cette justesse ; les détails en sont trop grands, & feroient seuls un volume, & ils sont d'ailleurs inutiles dans le cas actuel : j'ai rapporté le point où je l'ai amenée, & cela suffit.

I. REMARQUE.

2208. Pour savoir combien l'Horloge marine varieroit, si elle n'avoit pas de machine de compensation, j'ai fait diverses expériences dont le résultat est que, pour 11 degrés de différence dans la température, l'Horloge avance ou retarde de 6 secondes par heure ; c'est-à-dire, que si on regle l'Horloge à la température de 4 degrés, & qu'on l'expose au chaud de 15 degrés, elle retardera de 6 secondes par heure, & ainsi de suite à proportion de la différence dans la température ;

donc pour 30 degrés de différence, l'Horloge retarderoit de 16 secondes $\frac{4}{11}$ par heure par la chaleur; & en 24 heures de 6 min. 32 secondes $\frac{8}{11}$: voilà la quantité de variation qui est produite par la dilatation du spiral & du balancier. Or notre Horloge passant alternativement du froid de la glace à la chaleur de 30 degrés, marche toujours uniformément par l'effet des verges & leviers de compensation ; d'où l'on voit l'utilité de ce méchanisme dans une Horloge où l'on a réduit infiniment les frottements des pivots & suspensions du régulateur. Si donc on parvenoit à réduire de même les frottements des pivots de balanciers des montres, alors ces machines varieroient au moins de 6 min. 32 secondes en 24 heures, pour 30 deg. de différence dans la température. Mais quoique les montres éprouvent fréquemment cette différence en hiver, cependant lorsqu'elles sont disposées selon nos principes (*II. Partie*, Chap. XXX), cela ne trouble pas sensiblement leur justesse ; & c'est ce qui est dû à la compensation des frottements. Loin donc de devoir chercher à réduire les frottements des pivots de balanciers des montres, on doit uniquement s'attacher à les rendre constants, & dans un certain rapport avec la force de mouvement du balancier: nous traiterons encore cet objet à la fin de cet ouvrage.

II. REMARQUE

Sur cette Horloge marine.

2209. Les expériences que j'ai faites avec l'Horloge marine, m'ont prouvé assez de justesse dans sa marche pour oser espérer que cette machine pourra être utile à la navigation. Mais comme elle est assez compliquée, d'une exécution très-difficile, & par conséquent à la portée de peu d'Artistes, ce qui rend nécessairement le prix d'une telle machine trop considérable, & que cette seule raison seroit suffisante pour en empêcher l'usage ; nous allons rechercher une construction qui, en nous donnant la même précision, remplisse notre double objet.

CHAPITRE XLIV.

Construction d'une Horloge Marine plus simple que la précédente.

2210. LORSQUE je composai l'Horloge marine que j'ai décrite ci-devant, je n'avois pas encore trouvé les moyens d'employer un poids pour moteur, ce qui m'avoit entraîné dans une construction plus compliquée ; car à cause de l'inégalité de force d'un tel moteur (le ressort), & pour donner plus de puissance au régulateur, il est nécessaire, lorsqu'on veut mettre l'Horloge en marche, de donner un mouvement de vibration aux balanciers (2097); & par une suite de cette combinaison, il a fallu adapter un second balancier, afin que si la machine éprouve de certaines agitations, elles ne soient pas capables d'interrompre la marche de l'Horloge. Or depuis que j'ai exécuté cette machine, j'ai eu le temps de l'envisager sans prévention, & de chercher à la perfectionner; & je l'ai examinée, comme si elle étoit l'ouvrage d'un autre Artiste. Je vais donc rendre compte des moyens que je crois propres à cela, & donner le plan de cette machine.

2211. La plus grande différence dans la construction consistera particuliérement dans l'emploi d'un poids moteur au lieu d'un ressort; & comme ce poids est la base de la nouvelle Horloge que je propose, je commence par donner les raisons de préférence que je donne au poids sur le ressort. Je donnerai ensuite l'idée du méchanisme de ce poids, & enfin je décrirai la machine.



Des obstacles que cause le ressort employé pour moteur d'une Horloge de Mer.

2212. 1°, Un ressort moteur est sujet à casser par les changements qui arrivent dans la température, sur-tout lorsque ce ressort est fort. Or un tel accident ne peut être réparé sur mer : on ne peut donc pas compter sur une Horloge à ressort, lorsqu'il est question d'opérations aussi essentielles.

2213. 2°, Un ressort change de force selon qu'il est exposé alternativement au chaud & au froid, ce qui ne peut manquer d'influer sur l'isochronisme des vibrations, à moins qu'on ne suppose une perfection constante dans l'échappement; & c'est ce que l'on ne doit pas espérer à cause de la variation des frottements de l'ancre.

2214. 3°, Un ressort perd de sa force à mesure qu'il agit : ce changement trouble encore la justesse de l'Horloge.

2215. 4°, Telle parfaite qu'on suppose la fusée, l'action du ressort n'égale pas celle du poids; d'ailleurs, à mesure que le ressort se *rend* (*a*), la fusée perd encore son égalité.

2216. 5°, Enfin il faut nécessairement mettre de l'huile aux spires du ressort pour en adoucir le frottement ; mais dès que cette huile s'épaissit, le frottement augmente, & souvent au point qu'il suspend toute l'énergie du ressort.

Du poids moteur de l'Horloge Marine.

2217. Par la construction de la suspension de l'Horloge, cette machine sera toujours sensiblement horizontale : ainsi si l'on attache à la boîte de l'Horloge un tuyau perpendiculaire, & que l'on y place le poids, celui-ci descendra librement; ensorte que s'il n'a pas de jeu, les agitations mêmes auxquelles pourroit être exposée l'Horloge, n'influeront pas sur le poids. Il n'y a que le cas où les secousses du vaisseau se feroient de bas en haut ou de haut en bas ; alors le poids

(*a*) Les ouvriers disent qu'un ressort se *rend*, quand il perd de sa force en marchant.

perdroit ou acquerroit de la force ſelon le ſens de l'agitation. Mais voici comment je prétends y remédier. Le poids ſera quarré, ainſi que le tuyau ; il n'aura que le jeu convenable pour deſcendre librement : on attachera ſur deux côtés oppoſés du tuyau en dedans deux regles dentées à rochet ; ces regles formeront des eſpeces de crémaillers, dont le côté droit des dents ſera en en bas. Le poids portera deux cliquets qui appuieront ſur les dents de crémailleres, enſorte qu'à meſure que le poids deſcend, les cliquets arcbouteront alternativement contre les côtés droits des dents ; & que ſi le vaiſſeau éprouvoit une ſecouſſe de bas en haut, &c, le poids ne pourroit ceſſer d'agir ſur la corde, & qu'il ne produiroit pas de contre-coup, parce que nous ſuppoſons les dents de crémailleres peu diſtantes les unes des autres, & qu'il y auroit un cliquet en priſe, tandis que l'autre gliſſeroit contre le côté incliné des dents. Enfin pour éviter encore ce petit contre-coup, je placerai au-deſſous de l'axe de la poulie du poids un très-fort reſſort qui ſuſpendra ce poids ; ainſi lorſqu'une agitation du vaiſſeau de haut en bas fait ceſſer le poids d'agir ſur la corde, alors ce reſſort dont l'action eſt égale à celle du poids qui le tend, tend la corde, & continue à faire marcher l'Horloge pendant le très-petit intervalle où le poids ceſſe d'agir : nous expliquerons ci-après ces effets du poids & du reſſort dont nous ne donnons ici qu'une notion. Cela poſé ; on voit que le poids n'éprouvera que les agitations de l'Horloge même que nous avons ſuppoſé reſter ſenſiblement horizontale à cauſe de ſa ſuſpenſion ; ainſi le poids ne peut avoir de contre-coups qui le faſſent ceſſer d'agir pendant un inſtant ſur la corde, & l'inſtant ſuivant avec toute la force acquiſe par ſa deſcente, comme cela arriveroit, s'il n'étoit forcé de ſuivre les mouvements du tuyau, & d'être comme fixé avec lui, n'ayant ſeulement que la faculté de deſcendre à meſure que l'Horloge marche ; enfin par cette diſpoſition, le poids n'ayant pas de contre-coups ne pourra ni rompre la corde, ni la corde ſortir de la poulie. Maintenant pour remonter ce poids, on voit qu'il faut mettre les cliquets hors de priſe des dents des crémailleres ;

crémailleres ; pour cet effet , on pratiquera, à côté des cliquets, une eſpece de tenaille à boucle, dont un bout agira ſur les cliquets pour les rapprocher du centre du poids ; & lorſque le poids ſera remonté , on lâchera les cliquets qui ſe remettront en priſe. Mais comme par cette diſpoſition il faudroit , à chaque fois que l'on veut remonter l'horloge, agir ſur cette tenaille pendant tout le temps que l'on remonteroit le poids, ce qui ſeroit incommode, j'ai ſuppléé à cet obſtacle, en diſpoſant la détente qui ſert à faire marcher l'horloge, pendant qu'on remonte le poids ; de ſorte qu'elle communique avec les cliquets, & qu'elle les met hors de priſe ; ainſi à meſure que la détente va à ſon repos, les cliquets reprennent leur ſituation : on ne peut pas remonter l'horloge ſans déplacer cette détente. Nous en expliquerons l'effet ci-après.

Des autres Parties de l'Horloge.

2218. La ſuſpenſion de l'horloge, telle que nous l'avons exécutée & décrite (2126), devient trop compoſée & trop coûteuſe; c'eſt pour cette raiſon que nous employerons une ſuſpenſion à double genou, avec le reſſort à boudin, pour adoucir les cahotages.

2219. On peut ſupprimer le double balancier, en ſorte que l'horloge aura pour régulateur un ſimple balancier, auquel la force motrice ſera capable de reſtituer le mouvement, ainſi que cela ſe pratique dans les montres ; car il eſt bon d'obſerver que quoique les montres ſoient expoſées à des agitations fort grandes & irrégulieres, cependant ces agitations ne troublent point la juſteſſe des montres, lors même qu'elles ſont à ſecondes. Or ſi cela n'arrive pas dans les montres, à plus forte raiſon, dans une machine ſuſpendue de maniere à n'éprouver que de très-foibles mouvements.

2220. Pour que les changements qui arrivent dans le rouage par la coagulation des huiles, variations de frottement, &c, n'influent pas ſur la juſteſſe des oſcillations du régulateur,

on adaptera un échappement rendu iſochrone ſelon les art. (1324 & ſuiv.).

2221. Le balancier ſe mouvra verticalement ; ſon axe portera des pivots rapportés très-fins, & très-durs : ces pivots au lieu de rouler dans des trous ſe développeront ſur des gouttieres d'agathe, à-peu-près comme l'angle d'un couteau de pendule. Pour empêcher que ces pivots ne puiſſent caſſer, il faut les revêtir du deſſus & des côtés, ne laiſſant à découvert que la partie inférieure qui doit ſe développer ſur la gouttiere.

2222. Les vibrations du balancier ſeront déterminées par un reſſort ſpiral placé à l'un des bouts de l'axe, & l'ancre d'échappement à l'autre.

2223. Le balancier pourra n'avoir que ſix pouces de diametre, & être d'une livre peſant; car je n'ai pas apperçu qu'en faiſant mouvoir librement les balanciers de l'horloge marine, ils euſſent acquis une faculté de conſerver leur vibration qui fût proportionnelle à leur peſanteur & diametre.

2224. Le balancier fera une vibration par ſeconde.

2225. Pour corriger les variations cauſées par les différentes températures, on adaptera des verges de compenſation, comme pour l'horloge décrite ci-devant, à cela près que dans celle-ci, ces verges ſeront placées verticalement, ainſi que le levier & le rateau de compenſation. Par cette diſpoſition, la peſanteur du rateau ou porte-cheville ſuffira pour lui faire ſuivre le mouvement du levier de compenſation; ainſi on ſupprimera le reſſort qui preſſe le rateau, la couliſſe, le cliquet, & il en réſultera d'ailleurs que ce rateau roulant ſur des pivots, aura beaucoup moins de frottement, & dès-là les verges de compenſation pourront être plus minces & pénétrées dans le même temps par la température qui agit ſur le ſpiral.

2226. Les ſecondes excentriques ſont plus ſimples, & cauſent moins de frottement : on en fera donc uſage.

Description de cette Horloge, vue Planche XXXIV. *fig* I.

2227. La plaque *A* s'attache au vaiſſeau, au moyen de quatre vis 1, 2; cette plaque porte fixement la calotte *B* ſur laquelle s'attache l'autre calotte *C*: c'eſt entre ces deux calottes que roule la boule formée à l'extrémité du petit axe *D*; l'autre bout de cet axe porte une boule qui roule entre deux calottes pareilles à *B*, *C*. L'ouverture, à travers laquelle paſſe l'axe dans ces calottes, eſt aſſez grande, pour qu'il puiſſe s'incliner de côté & d'autre; ce mouvement eſt ſemblable à celui d'un genou de pied de téleſcope : j'emploie deux boules, afin de faciliter la plus grande inclinaiſon à la plaque qui repréſente ici le vaiſſeau; & ſans être obligé de trop agrandir l'ouverture de l'axe *D*, ainſi que cela devroit être, s'il n'y avoit qu'une boule & deux calottes : la calotte inférieure eſt attachée à la tige *F F*, ſur laquelle le bout *G* du reſſort à boudin *H* eſt fixé; l'autre bout de ce reſſort eſt attaché au pont à quatre branches *I K*: les pattes de ce pont ſont fixées par des vis ſur la planche quarrée *L L*: cette planche eſt le deſſus de la boîte qui contient le mouvement de l'horloge : *M M* eſt une planche qui forme le fond de la boîte dont on a ſupprimé les côtés pour laiſſer voir la machine à découvert. On voit, par cette diſpoſition, que le reſſort à boudin *H* ſoutient tout le poids de la machine par laquelle il eſt comprimé; ainſi ce reſſort s'accourcit & s'alonge ſelon les agitations du vaiſſeau duquel il adoucit les chocs.

2228. Le mouvement de l'horloge eſt compoſé de trois platines *N*, *O*, *P*, qui forment deux cages au moyen de 8 piliers : la quatrieme plaque *Q* eſt le cadran vu par derriere; celle-ci forme avec la platine des piliers *P* une troiſieme cage, entre laquelle ſont placées à l'ordinaire les roues de cadran. La cage *O P* contient les roues du mouvement que nous nous diſpenſons de décrire, parce qu'elles n'ont rien de particulier.

2229. Les platines *O*, *N* forment la cage entre laquelle ſe meut le balancier ou régulateur *O F*. L'axe du balancier porte à chaque bout un pivot fixe, dur, & revêtu, qui va ſe développer ſur les gouttieres fixées l'une à la platine des piliers *P*, & l'autre à la platine *N*.

2230. Le poids *S* eſt le moteur de l'horloge ; il deſcend entre les crémailleres *T*, *V* : ce poids porte deux plaques de cuivre *a* & *b* fixées avec lui; ces plaques portent deux entailles oppoſées, dans leſquelles paſſent les crémailleres ; le poids eſt contenu par les crémailleres qui tiennent en même temps lieu du tuyau dont nous avons parlé;ainſi cepoids deſcend librement ſans pouvoir ſe mouvoir d'aucun ſens ſéparément des crémailleres; celles-ci ſont fixées par en haut à la platine *X* ſur laquelle s'attache le mouvement, & par en bas à la planche *M M*; ſur la plaque *a* du poids ſont ajuſtés les cliquets *c* & *d* qui arcboutent contre les dents des crémailleres : les chappes *e*, *f* de la poulie *Y* ſe meuvent en couliſſe ſur les ponts *g*, *h*, attachés à la plaque *a* ; ce mouvement ſert à faciliter la compreſſion du reſſort *i* que bande le poids, & agit ſur le rouage, lorſque par un contre-coup, le poids tend à remonter, & eſt arrêté par les cliquets ; la corde *W* s'attache par un bout à la platine *X*, & par l'autre au cylindre *K* que porte la premiere roue du mouvement.

2231. Quand on veut remonter le poids, on fait agir une détente qui produit pluſieurs effets dans le même inſtant ; 1°, un bras découvre le trou du remontoir, pour pouvoir y placer la clef : 2°, un deuxieme bras va agir ſur une roue du rouage, afin que pendant tout le temps qu'on ſuſpend le poids pour le remonter, l'horloge ne diſcontinue pas de marcher : 3°, un troiſieme bras porte une cheville 3 qui paſſe en deſſous de la platine *X* pour agir ſur le bras 4 de la piece *Z Z* mobile ſur deux pivots, dont l'un roule dans la platine *X*, & l'autre dans celle *M M*; cette piece *Z Z*, en tournant ſur elle-même par le mouvement de la détente, agit en même temps ſur les petits leviers *l*, *m*, dont les bouts op-

posés agissent sur les cliquets *c*, *d*, & les mettent hors de prise des crémailleres, ce qui donne la facilité de remonter le poids; car la piece *Z Z* étant également large dans toute sa longueur, elle écarte les leviers *l*, *m*, & par conséquent les cliquets; & dès que le poids est monté au haut, l'horloge continuant à marcher, la détente, dont nous avons parlé, reprend son repos, ainsi que la piece *Z Z*, les leviers *l*, *m*, & les cliquets qui se remettent de nouveau en prise avec les crémailleres, à mesure que le poids descend. Voilà en gros le méchanisme du poids, dont nous donnerons le détail ci-après.

2232. Les verges de compensation 5, 6, 7 sont attachées sur la platine *N*, au moyen de deux fortes vis 8, 9; la plaque 5 qui recouvre ces verges sert en même temps de pont pour y faire mouvoir le levier de compensation *n o*, mobile en *n*, & dont le bout *o* agit sur un bras du pince-spiral *p*; ainsi celui-ci se meut selon l'excès de dilatation des verges de cuivre sur celles d'acier; voyez (2142): le pince-spiral se meut sur deux pivots, dont l'un roule dans un trou fait à la platine *N*, & l'autre au coq *q*; il faut que ce pince-spiral ne soit pas tout-à-fait concentrique à l'axe du balancier, mais qu'il décrive un arc qui se confondre avec la portion du spiral, afin qu'en tournant le pince-spiral ne contraigne pas le spiral.

2233. Le pince-spiral *p* peut tourner séparément & à frottement du bras *s o* fixe sur l'axe *t*; cet effet est nécessaire pour régler l'horloge; sans cette précaution, cela ne pourroit se faire sans alonger ou accourcir le spiral par son piton, ce qui seroit une opération difficile: le pince-spiral porte un index *r* qui marque sur les graduations de la platine la quantite dont on l'a tourné pour faire avancer ou retarder l'horloge.

2234. Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails sur les verges & leviers de compensation; ceux qui auront lu tout ce qui concerne l'horloge marine, chap. XLII & XLIII, entendront de reste toute cette matiere.

Détail du poids, de la détente, de la ſuſpenſion de l'Horloge, & des Pivots de Balancier.

2235. La 2e. figure de la planche XXXV fait voir en perſpective la détente en action ſur la baſcule pour écarter les cliquets, lorſqu'on veut remonter le poids. L'axe *A B* de la détente ſe meut dans des trous faits, l'un à la plaque du cadran, & l'autre à la ſeconde platine du mouvement. Le bras *C* ſert à recouvrir le trou du remontoir, afin qu'on ne puiſſe remonter le poids ſans faire produire à la détente ſes différents effets; le bras oppoſé *D* reçoit l'action du reſſort qui ſert à continuer le mouvement pendant qu'on ſoutient le poids : le bras *E* porte une cheville qui paſſe à travers une ouverture faite au cadran; c'eſt ſur cette cheville que l'on agit pour faire découvrir le trou de remontoir, bander le reſſort qui agit en *D*, &c : le bras coudé *F* porte le pied de biche *a* mobile en *b*, preſſé par le reſſort *c*, & retenu par la cheville *d*; ce pied de biche emporté par le mouvement de la détente va ſe mettre en priſe avec une roue du mouvement, & par l'action du reſſort qui preſſe le bras *D*, agit ſur le rouage pour le faire marcher, tandis qu'on monte le poids : la cheville *G* de la détente, par le mouvement produit lorſqu'on la fait tourner pour découvrir le trou, fait tourner la baſcule *H* au moyen de ſon bras en fourchette *I*. Ce mouvement de la baſcule écarte les leviers *d*, *e* mobiles en *f* & *g*; les bouts *i* & *l* de ces leviers agiſſent ſur deux chevilles portées par les cliquets *m*, *n*; ainſi ces cliquets ſont ramenés contre le centre du poids *K*, enſorte que ces cliquets ſont mis hors de priſe des dents de crémaillere : le reſſort *o* porte deux bouts qui agiſſent, l'un ſur le cliquet *m* & l'autre ſur *n* pour les ramener en priſe, auſſi-tôt que la détente (abandonnant la roue ſur laquelle le pied de biche agiſſoit) reprend ſon repos.

2236. Le poids *K* porte fixement les plaques de cuivre *L* & *M*; les fentes *n*, *p*, *q* ſervent à recevoir les crémail-

leres ; la coupe des crémailleres eſt vue en *A* & *B* (*fig*. 3) ; la même fig. fait voir en plan la baſcule *H*; les leviers *d*, *e*, & les cliquets *m*, *n* ſont attachés ſur la plaque de cuivre ſupérieure *L* ; les traits ponctués *p*, *q* marquent la place des ponts qui ſupportent les chappes de la poulie ; ces ponts ſervent à contenir les bouts extérieurs des cliquets ; les bouts intérieurs le ſont par des vis à portée qui entrent dans les ouvertures alongées des cliquets : *o*, eſt le reſſort qui ramene les cliquets.

2237. La figure 4 fait voir de profil le poids aſſemblé avec ſes ponts & chappes : *A* eſt le poids ; *B*, la plaque de cuivre inférieure qui porte les fentes oppoſées pour le faire mouvoir en couliſſe ſur les crémailleres ; *C*, la plaque ſupérieure qui ſert au même uſage, & de plus à porter les ponts, leviers & cliquets : les ponts *D* & *E* tiennent à la plaque, chacun par deux vis : les chappes *F*, *G* qui portent la poulie, ſont retenues après les ponts *D*, *E* par les vis à portée *a*, *b* ; ces chappes auxquelles tiennent les vis, peuvent monter en couliſſe, & deſcendre ſelon la hauteur des ponts; pour cet effet les ponts portent des trous alongés (voy. fig. 1) dans leſquels paſſent les vis à portée, & deux tenons écartés des vis, pour empêcher que les chappes ne puiſſent vaciller. Le reſſort *H* tient par ſon centre à la plaque *C*, au moyen de la vis *c* ; ce reſſort appuie ſur les talons portés par les chappes *F*, *G* ; ainſi la force de ce reſſort étant proportionnée à la peſanteur du poids, on voit que ce reſſort fléchit, & que la poulie s'écarte du poids pour produire l'effet indiqué (2217).

2238. La figure 5 repréſente le pince-ſpiral ; *A* eſt l'axe ſur lequel le pince-ſpiral *B* ſe meut à frottement ; le bras *C* porte une cheville ſur laquelle agit le bout du levier de compenſation ; *D* eſt un contre-poids qui entraîne le pince-ſpiral ſelon le mouvement du levier de compenſation.

2239. Les figures 6, 7 & 8 repréſentent les détails du genou de ſuſpenſion. *A* (*fig*. 6) eſt la plaque qui s'attache au vaiſſeau ; *B*, la calotte fixée à cette plaque, & *C*, l'autre calotte qui s'aſſemble avec la premiere par trois vis : c'eſt en-

tre ces deux calottes que se meut la boule *D* (*fig.* 8); les entailles faites aux calottes, sont faites pour faciliter le jeu de l'axe *E* des boules: *D*, *F*, *fig.* 8; *G*, *fig.* 7; & *H*, *fig.* 8, sont les deux calottes qui recouvrent la boule *F*; ces calottes *G*, *H* se fixent après l'axe *I K* au moyen d'une forte vis : l'assiette *K* de cet axe sert à y fixer le bout inférieur du ressort à boudin, & l'autre bout de ce ressort s'attache, comme j'ai dit, au pont qui tient à la boîte.

2240. Les figures 9, 10 & 11 représentent l'ajustement d'un pivot de l'axe de balancier, la gouttiere, &c. *A* (*fig.* 9) est le bout de l'axe sur lequel le canon entre à frottement, & de sorte que le bout de l'axe affleure au bord *b* de l'entaille; le petit canon *C* (*fig.* 11) entre à frottement dans le trou du canon *B*; l'entaille de celui-ci passe par le centre; le bout du canon *C* est aussi entaillé jusqu'au centre, afin que le bout du cylindre ou pivot *D* qui entre dans *C*, soit revêtu du dessus & des côtés, & qu'on le puisse faire très-petit, pour réduire le frottement autant qu'il est possible. C'est la partie de ce pivot qui est située dans l'entaille *b*, qui roule sur la gouttiere faite au coussinet *E* (*fig.* 10); ce coussinet se fixe sur la platine; il est recouvert par la piece *F* percée d'un trou, à travers lequel passe un bout prolongé du cylindre ou pivot *D* (*fig.* 11); cette piece est nécessaire pour empêcher que par de certaines secousses, le balancier ne puisse s'écarter des coussinets qui le supportent; la pointe du pivot prolongé va poser contre le coqueret d'acier *G*; ce coqueret, la piece *F*, & le coussinet *E* sont arrêtés par la même vis après la platine. Chaque bout de l'axe est terminé de la même maniere; ainsi le balancier ne peut que tourner sur lui-même, sans pouvoir s'écarter des coussinets à cause des pieces *F*, ni se mouvoir selon sa longueur à cause des coquerets *G*.

Remarque

Remarque ſur cette Horloge.

2241. Quoique la diſpoſition du balancier placé verticalement paroiſſe rendre la machine plus ſimple ; cependant je ne crois pas encore être parvenu au but que je deſire ; car les ajuſtements des pivots ſont aſſez difficiles & ſujets à des frottements. Mais on peut prendre de cette machine la diſpoſition du poids, & tout ce qui lui eſt relatif, & combiner cela avec le balancier, tel que je l'ai employé dans ma premiere horloge ; faire uſage de même des verges & leviers de compenſation, enſorte qu'il réſultera du tout une machine très-ſimple, d'une facile exécution, & dont j'eſpere que la juſteſſe ſera très-grande : nous allons donner une notion de cette horloge, dont les principales parties ſont vues, (*Planche XXXV fig.* 1).

Deſcription d'une Horloge Marine à un ſeul balancier horizontal & ſuſpendu : cette Horloge eſt à poids, elle a des verges de compenſation, &c.

PLANCHE XXXV.

2242. Cette horloge vue (*fig.* 1), eſt à ſecondes d'un ſeul battement ; le poids eſt diſtribué comme dans l'horloge que nous venons de décrire : l'échappement eſt à roue de rencontre ; la roue de rencontre a 30 dents ; ſon axe porte l'aiguille des ſecondes qui marque ſur un petit cadran excentrique : le balancier *A* eſt ſuſpendu par un reſſort *a* attaché à un pont qui ſe fixe ſur une platine qui n'eſt pas ici repréſentée, mais qu'il eſt facile de ſe figurer, puiſque la diſpoſition du balancier doit être la même que dans l'horloge décrite chap. XLII. & XLIII : le pivot ſupérieur du balancier doit rouler dans un trou fait à cette platine ; & le pivot in-

férieur dans un trou fait à la platine *B B* : ces pivots ne sont faits que pour maintenir le balancier en l'empêchant de s'écarter de la ligne *a b*; car son poids est entiérement soutenu par le ressort *a*.

2243. Le bras *C* est rivé sur un canon qui roule à frottement sur l'axe du balancier; ce bras porte une cheville qui communique à la fourchette *D*, rivée sur un canon qui entre à frottement sur l'axe des palettes d'échappement *E* : ainsi la force de la roue de rencontre est transmise au balancier; ce qui lui donne & entretient son mouvement. Les platines *G*, *H* forment la cage qui contient le rouage de mouvement; on ne voit de ces roues que celle d'échappement *F*, & le cylindre porté par la premiere roue : ce cylindre *I* est entouré de la corde *K* qui soutient le poids moteur *L*, dont la disposition est expliquée ci-devant (2217, 2235 & suiv.)

2244. La plaque *M M* est le derriere du cadran ; cette plaque s'attache à la platine des piliers *H* par quatre faux piliers rivés sur la plaque du cadran : les roues de cadran sont placées à l'ordinaire entre le cadran & la platine des piliers.

2245. Les vibrations du balancier sont réglées par le ressort spiral *N N*; le bout intérieur est retenu sur l'axe du balancier par une virole faite comme celle décrite (2158); le bout extérieur est arrêté à un piton *O O* arrangé comme celui décrit (2140).

2246. L'axe du balancier est fait d'une seule piece. Comme il n'a pas besoin d'être fort gros, le balancier étant plus petit & léger, on peut le faire d'assez bon acier pour avoir des pivots qui soient durs.

2247. Les pivots de balanciers rouleront tout simplement dans des trous faits aux platines, ce qui sera très-bon; car le frottement des pivots peut être regardé comme nul, puisque le balancier est toujours sensiblement horizontal : on supprimera par ce moyen les agathes & leur ajustement.

2248. Le spiral peut être fait comme un ressort de montre, & aussi élastique que ceux dont nous avons fait usage, qui ont cependant coûté beaucoup de peines & de soins.

2249. Le pince-ſpiral ſera diſpoſé comme celui de la figure 5, décrit (2238); l'axe *b c* de ce pince-ſpiral ſera mobile au-deſſous de l'axe de balancier, entre le deſſous de la platine *B B*, & le pont *P* : le bras *Q* eſt mis en mouvement par la fourchette *R* fixée ſur l'axe *S* du levier *T*; ce levier appuie ſur la verge de cuivre prolongée du milieu du chaſſis de compenſation *V X* dont on ne voit que le bout ſupérieur.

2250. On n'a pas ici repréſenté un reſſort qui doit preſſer le pince-ſpiral, afin qu'il oblige par ſon bras *Q* le levier *T* de ſuivre le mouvement de la verge prolongée *V*, & ſuivre par-là toutes les impreſſions que produiſent le chaud & le froid ſur les verges de compenſation : il eſt d'ailleurs facile de ſe repréſenter ce reſſort.

CHAPITRE XLV.

Additions & Expériences ſur les verges de Pendule, propres à corriger les dilatations & contractions des métaux.

Expériences ſur les effets des frottements d'un échappement à repos pour changer la juſteſſe de l'Horloge.

Expérience faite avec un Pendule à chaſſis de même dimenſion que celui dont j'ai rendu compte (2008).

2251. AYANT appliqué ce pendule ſur le pyrometre, mis l'éguille à zéro, l'air extérieur étant au terme de la glace, le thermometre eſt monté à 2 degrés; l'aiguille a auſſi parcouru 2 degrés du froid; enſuite j'ai mis l'étuve, fait

chauffer avec des mottes ; le thermometre eſt monté à 34 degrés ; le pyrometre a parcouru 10 degrés du chaud ; il eſt revenu à 5 deg. où il eſt reſté aſſez conſtamment : ôté l'étuve ; le thermometre eſt revenu à 2 degrés & le pyrometre à zéro.

2252. Cette expérience prouve que la compenſation ne ſe fait pas parfaitement, & que les verges ne ſont pas aſſez longues ; d'où il ſuit, 1°, que l'on ne peut pas fixer exactement les dimenſions d'une verge de pendule, par la raiſon que les dilatations varient ſelon la nature de l'acier & du cuivre ; 2°, que pour ſuppléer à ces différences, il faut ajouter au pendule un levier de compenſation, au moyen duquel on puiſſe faire varier l'effet par une vis de rappel, & ſelon les différentes extenſions des métaux.

2253. J'ai encore trouvé un autre défaut à ce pendule ; c'eſt que ſi l'on appuie un peu fortement ſur la lentille pendant qu'elle eſt ſuſpendue ſur le pyrometre, les verges éprouvent une flexion, & que ſi on laiſſe la lentille ſans la ſoulever, l'aiguille du pyrometre ne revient pas exactement au point où elle étoit avant la preſſion ; or cet effet eſt produit par le trop de peſanteur de la lentille qui n'eſt pas proportionnelle à la force des verges. Si l'on ſouleve enſuite la lentille, & qu'on l'abandonne à ſon propre poids, l'aiguille du pyrometre ne revient pas au même point où elle étoit, c'eſt-à-dire, que le pendule change de longueur ; à la vérité, c'eſt de fort peu de choſe, mais trop pour l'exactitude que nous deſirons. Au reſte, ce défaut peut être corrigé facilement ; il ne faut que faire une lentille plus légere.

REMARQUE.

2254. Il ſuit de cette expérience que pour juger ſi la peſanteur de la lentille eſt proportionnelle à la force des verges de compenſation d'un pendule quelconque appliqué ſur le pyrometre, il faut que, ſoit que l'on appuie ſur la lentille, ou qu'on la ſouleve, l'aiguille du pyrometre revienne

toujours au même degré d'où elle eſt partie.

2255. Il ſuit de-là qu'il eſt poſſible de faire différentes ſortes de verges propres à remédier aux écarts produits par la dilatation & contraction des métaux, & que cela dépend du rapport de ſolidité des verges avec la peſanteur de la lentille ; ainſi en n'employant qu'une verge de cuivre, deux d'acier, & un levier de compenſation, on pourra parvenir à faire une verge de pendule, qui étant plus ſimple que celle à chaſſis, ſoit cependant propre à corriger les effets du chaud & du froid. Nous allons travailler à donner les dimenſions d'un tel pendule.

2256. Pour ne pas donner au pendule plus de peſanteur qu'il n'eſt beſoin, il faut faire chaque verge particuliere d'une force qui ſoit telle qu'elle ſoit relative à la preſſion qu'elle éprouve ; il faut donc rechercher, avant de compoſer le pendule, la quantité de preſſion que cauſe la lentille ſur chaque verge ; car il eſt bon de remarquer qu'elle n'eſt pas la même ſur toutes les parties de la verge. Pour cet effet il faut remarquer que s'il n'y avoit point de levier de compenſation, & que la verge qui porte la lentille eût ſimplement un talon qui poſât ſur la verge de cuivre, alors les verges d'acier & de cuivre devroient être dans le rapport des dilatations, c'eſt-à-dire, comme 74 à 121 ; or cela eſt fondé ſur nos expériences qui paroiſſent prouver que les dilatations ſont en raiſon inverſe des ténacités (*a*) des

(*a*) Car l'action du feu produit une dilatation qui eſt d'autant plus grande, que les parties du corps ſur lequel elle agit, cedent facilement ; & au contraire ſi la chaleur agit ſur un corps dont les parties ne puiſſent ſe ſéparer que par un effort violent, l'extenſion ou dilatation en ſera plus petite ; en un mot cet effet de la chaleur ſur les corps ne doit pas être différent de l'action produite par des poids dont on peut charger ces corps pour les faire rompre ; & la loi de la dilatation doit être la même que celle de la ténacité : nous joignons ici une table de la ténacité des métaux ; je l'ai tirée de la Minéralogie de *Vallerius*, tom. 1.

Un fil d'or cylindrique d'un dixieme de pouce (pied du Rhin) de diametre, peut ſoutenir, avant de ſe rompre, un poids de . . . 500 liv.

Un fil de fer de même dimenſion que celui d'or, ...	450
De cuivre, ...	299 $\frac{1}{4}$
Argent, ...	270
Etain, ...	49 $\frac{1}{2}$
Plomb, ...	29 $\frac{1}{4}$

En comparant cette table avec celle des dilatations de l'article (*1696*), on voit que les dilatations ne ſont pas exactement en raiſon inverſe des ténacités des parties ;

parties qui compoſent les corps : donc en ſuppoſant qu'une verge ſimple d'acier qui a 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur peut ſupporter, ſans s'affaiſſer, une lentille de 20 livres ; la verge de cuivre qui ſupportera la même lentille par un ſimple talon, ayant la même épaiſſeur, devra être plus large que celle d'acier, dans le rapport de 121 à 74. Mais lorſqu'il eſt queſtion d'un pendule qui a un levier de compenſation, les dimenſions deviennent tout autres, ainſi que nous allons le faire voir ; car dans le pendule compoſé de trois verges (*Planche XXXIV*, *fig.* 2) à cauſe du levier de compenſation, l'action de la lentille ſur la verge de cuivre eſt double de ſon poids ; ainſi la largeur de cette verge ne doit pas être ſeulement comme la dilatation du cuivre à l'acier ; mais de plus, comme l'effort qu'elle recoit eſt à celui qu'éprouve la verge qui ſupporte la lentille, c'eſt-à-dire, dans le cas actuel, double de la largeur premiérement trouvée. Enfin la verge d'acier *A B* qui porte les deux talons, dont l'un porte le point de ſuſpenſion, & l'autre ſur lequel poſe le bout inférieur de la verge de cuivre ; cette verge, dis-je, n'éprouve pas ſimplement l'effort du poids de la lentille, mais elle reçoit cet effort multiplié par le levier, c'eſt à-dire, qu'il eſt double du poids de la lentille ; donc cette force fait effort pour écarter ces talons, & faire fléchir la verge ; ainſi pour qu'elle n'éprouve pas plus d'effort que la verge qui ſupporte la lentille, il faut qu'elle ait une largeur double de celle-ci : il faut auſſi avoir attention au poids même des verges ; car la verge à talon ſupporte, outre l'action double de la lentille, le poids de

je ſuis cependant perſuadé que cette loi doit avoir lieu (même dans les fluides) ; mais pour s'en aſſurer, il faudroit que la même verge d'or, de fer, de cuivre, &c, qui auroit ſervi à faire les expériences ſur les dilatations, fût enſuite employée pour faire les expériences ſur les ténacités ; car ſans cela, la différence des matieres peut cauſer une erreur conſidérable, puiſqu'il eſt évident que la dilatation d'une verge d'or à 21 karats eſt différente de celle de l'or pur dont M. Vallerius a dû ſe ſervir pour faire expérience de la ténacité : l'or recuit ou battu change encore ; ainſi il faut, pour pouvoir tabler là-deſſus, que chaque verge à éprouver ſoit dans les mêmes circonſtances ; c'eſt-à-dire, qu'il faut l'employer à l'une & l'autre expérience.

la verge de cuivre, plus celui de la verge qui ſoutient la lentille; il faut auſſi que le levier de compenſation ait une force relative à l'effort qu'il reçoit. Enfin il faut en général que les dimenſions de toutes les parties du pendule ſoient dans le rapport des preſſions; alors toutes ces parties ſeront capables de ſupporter le même effort ſans affaiſſement.

Dimenſions du Pendule.

2257. Ayant ſuſpendu à une verge d'acier qui a 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur, une lentille de 30 livres, j'ai vu que cette verge n'en étoit point affaiſſée : partant d'après cela, on aura facilement les autres dimenſions des verges. Pour trouver la largeur de la verge de cuivre, on fera la proportion 74: 121 : : 6 : x; on trouve pour 4e terme 9 $\frac{60}{74}$, c'eſt-à-dire qu'un pendule qui auroit une verge de cuivre de 9 lignes $\frac{60}{74}$ de largeur, & 4 d'épaiſſeur, ſeroit également propre à ſoutenir un poids de 30 livres que la verge d'acier qui a 6 lignes de largeur & même épaiſſeur. Mais comme dans le pendule compoſé de trois verges, celle de cuivre ſupporte un effort double du poids de la lentille, il faut doubler la largeur de cette verge; ainſi elle ſera de 19 lignes $\frac{46}{74}$, ou environ 20 lignes. Enfin la verge d'acier qui porte les deux talons, éprouve le même effort que celle de cuivre; donc cette verge doit avoir le double de la largeur de la verge d'acier qui porte la lentille; elle aura donc 12 lignes, & renforcée vers le talon, comme dans la figure (*Pl. XXXVI. fig.* 2). Voilà les dimenſions qu'il faut donner au pendule à trois verges dont voici la deſcription.

2258. Le bout *A* de la verge à talon *A B* s'attache à la fourchette de ſuſpenſion qui n'eſt pas ici repréſentée. (Voy. la figure, *Pl. XXVIII*, *fig.* 5). Le talon inférieur *B* reçoit le bout *C* de la verge de cuivre; le bout ſupérieur *D* porte une cheville *a* ſur laquelle poſe le levier de compenſation *E*; le bout *F* de la ſeconde verge d'acier porte une cheville *b* qui appuie ſur le levier de compenſation; le bout inférieur *G* de cette verge eſt

fait en vis, & paſſe à travers la fourchette *H H*: cette fourchette eſt retenue après la verge au moyen de l'écrou *I* ; la fourchette embraſſe la lentille par ſon épaiſſeur, & la ſupporte au moyen de la vis *K* qui la traverſe : la lentille ainſi ſuſpendue par ſon centre, peut ſe dilater ſans changer la longueur du pendule (2015) ; la lentille eſt donc ſuſpendue par la verge *F G*, & agit ſur le levier *E*, & par conſéquent ſur la verge de cuivre. Le centre de mouvement du levier de compenſation ſe fait au point *C* ſur une eſpece de dent *d* portée par la fourchette *L* ; cette fourchette qui embraſſe l'épaiſſeur de la verge (ainſi que le levier de compenſation) eſt mobile au moyen de la vis de rappel *M* ; en faiſant mouvoir cette vis de rappel, on approche ou on écarte le centre du mouvement *c* des chevilles *a*, *b* ; par ce moyen on cherche le point convenable pour la compenſation ſelon que les extenſions des mêmes métaux ſont différentes.

2259. Le bout inférieur de la verge *A B* porte une partie prolongée *N* qui paſſe dans une entaille faite à la fourchette, & qui ſert à l'empêcher de tourner, ainſi que la lentille ; la partie *O P* eſt fixée ſur la fourchette *H*; elle ſert à appuyer ſur le côté de la verge *F G*, afin de maintenir la lentille dans ſa direction, & l'empêcher de vaciller.

2260. Les brides *Q*, *R*, *S* ſervent à retenir les verges du pendule en leur laiſſant ſeulement la liberté de ſe mouvoir librement ſelon leur longueur.

2261. J'ai ajouté à ce pendule un thermometre qui eſt mis en action par la dilatation & contraction de la verge : il ne ſert pas ſeulement à faire voir ces différents effets du chaud & du froid ; mais il eſt ſur-tout utile pour eſtimer ſi toutes les parties du pendule ſont bien proportionnées en ſolidité, & à tenir lieu, à cet égard, du pyrometre ; ainſi en appuyant ou en ſoulevant la lentille, on voit ſi l'aiguille du thermometre revient au même dégré.

2262. Sur la verge d'acier *G F*, eſt fixée une cheville d'acier *e*, ſur laquelle appuie la petite partie *f* du levier *fg* fait

fait d'une ſeule piece rivée ſur un canon qui eſt mobile en *h* ſur une broche attachée à la verge de cuivre ; le bout *g* de ce levier agit ſur une cheville fixée à la partie *i* de l'aiguille *i l*, mobile en *m* ſur une broche miſe à vis ſur la verge de cuivre ; le reſſort *n i* appuie ſur la cheville *i*, enſorte que l'aiguille va & vient ſur elle-même, ſelon les impreſſions du chaud & du froid ſur les verges : cette aiguille *i l* marque ces changements ſur le limbe gradué *T V* : on peut graduer ce limbe en des diviſions qui ſoient correſpondantes à celles du thermometre de M. de Réaumur ; ainſi ce thermometre marquera le degré de température qui frappe le pendule.

Remarque ſur les verges ſimples de Pendule.

2263. Il ſuit des obſervations que nous venons de faire, ſur le rapport entre la peſanteur de la lentille & la force des verges, que dans un pendule ſimple il ne faut pas être moins attentif à donner ce rapport, que pour celui qui eſt compoſé de pluſieurs verges ; car ſi la lentille eſt trop peſante, relativement à la verge, il arrivera que la verge s'alongera de plus en plus par la chaleur, & que le froid ne la ramenera jamais au même point où elle étoit avant l'extenſion ; & ainſi de ſuite, à proportion que la lentille eſt plus peſante ; enſorte qu'une horloge où ce pendule eſt appliqué, ira toujours en retardant de plus en plus. Il ſuit de la même remarque que les ſuſpenſions à reſſort doivent néceſſairement s'alonger de plus en plus par les changements de température ; & c'eſt une des raiſons qui nous ont fait préférer la ſuſpenſion à couteau. Lors donc que l'on voudra employer une lentille du poids de 30 livres, il faudra employer une verge d'acier qui ait 6 lignes de largeur & 4 d'épaiſſeur.

2264. Nous devons encore obſerver que la force relative de la verge avec le poids de la lentille doit changer par l'étendue des arcs de vibrations du pendule ; car

plus les arcs feront grands, & plus la lentille fera effort (a) pour s'écarter du point de fufpenfion, à caufe de l'effet de la force centrifuge : ainfi la verge éprouvera une preffion plus grande que le poids de la lentille ; d'où il fuit qu'un pendule, d'abord en repos & appliqué fur le pyrometre, étant alors dans le rapport convenable, pourroit ne plus l'être, lorfque le pendule étant appliqué à l'horloge il décriroit de grands arcs.

Expériences fur les effets des réfiftances des huiles, & les frottements de l'échappement à repos dans une Horloge aftronomique.

2265. Ayant voulu connoître quels font les changements produits par la différence des huiles & des frottements, en paffant du chaud au froid, dans l'horloge aftronomique décrite (1768 *& f.*) je notai, le 23 juin 1761 les degrés que parcouroit le pendule. Le thermometre étant à 22 degrés, le pendule décrivoit des arcs de 25 minutes ; & en hyver (le 2 Mars 1762), lorfque le froid extérieur étoit à 4 degrés au deffous de la glace, j'ai laiffé ouverte pendant la nuit, la fenêtre de la chambre où eft placée l'horloge ; le thermometre placé à côté de l'horloge, étoit alors à 1 degré au-deffous de la glace ; le pendule ne décrivit que des arcs de 12 minutes $\frac{1}{2}$: ainfi 23 degrés de différence dans la température ont réduit l'étendue des arcs décrits par le pendule, à la moitié de ce qu'ils étoient en été. Voilà l'effet produit par les réfiftances des huiles, & la différence des frottements du chaud au froid. Or on conçoit que malgré la théorie qui dit qu'en doublant l'étendue des petits arcs, on ne change pas l'ifochronifme des vibrations, on conçoit, dis-je, que l'horloge doit néceffairement varier ; car les frottements de l'échappement qui eft à repos, changent très-fenfiblement la durée des vibrations, comme on

(a) Cet effort augmente comme le quarré de l'arc.

le verra par une expérience que je rapporterai ci-après. Cette différence dans l'étendue des arcs de vibration auroit été infiniment petite, si l'arc décrit par le pendule, au lieu d'être de 25 minutes, eût été de 2 ou 3 degrés; car alors, selon la remarque du n°. (1865), l'effet des huiles auroit été dans un moindre rapport avec la force de mouvement du pendule.

Expérience faite avec une Horloge à secondes, sur les effets de l'Échappement à repos.

2266. L'horloge à équation que je présentai à l'Academie en 1754, a un échappement à repos, disposé pour faire décrire de très-petits arcs au pendule: voyez art. (1789). L'ancre d'échappement de cette horloge a son centre de mouvement 6 pouces au-dessous du point de suspension, dont l'élévation est la même que le centre de la roue d'échappement; & la cheville de la fourchette agit sur le pendule à 12 pouces du centre de suspension; ainsi l'angle décrit par le pendule, est moitié plus petit que celui de l'ancre. Par cette méthode, l'ancre parcourant un plus grand espace, devenoit plus facile à exécuter; mais j'ai reconnu depuis quelque temps, que cette méthode d'augmenter le chemin parcouru par les palettes d'échappement, sans augmenter l'étendue des arcs décrits par le pendule, est très-défectueuse, parce que cela augmente les frottements & les variations; & c'est ce que je viens de vérifier encore dans l'horloge en question; car après l'avoir vue assez bien réglée, je me suis apperçu tout-à-coup qu'elle retardoit de plus de 2 minutes par jour: je remontai la lentille de deux tours d'écrou; & malgré cela, l'horloge alloit toujours en retardant, ce que j'attribuai au frottement de l'ancre: je vis en effet que les palettes étoient entiérement dessechées d'huile, & sans que le poli de l'ancre fût ôté; je ne fis donc simplement que remettre de l'huile à l'ancre, & dès-lors l'horloge

avançoit beaucoup, & elle n'a été réglée qu'après avoir ramené la lentille au point où elle étoit auparavant.

2267. On voit par cette expérience que si dans une horloge dont le régulateur est assez puissant (la lentille pese 40 livres), le changement de frottement de l'échappement est capable de produire de si grands écarts, le changement des frottements ne doit pas en produire de moindres dans les montres à repos : on peut en conclure de plus sur les échappements d'horloges ou montres en général ; 1°, qu'il faut employer préférablement, lorsqu'il est possible, un échappement dont la traînée est très-petite, & qui n'exige pas d'huile ; alors le frottement sera plus constant ; 2°, qu'il faut, pour obtenir une petite traînée, diminuer, autant qu'il est possible, la longueur des bras de l'ancre ; 3°, l'effort que fait la roue par la levée, augmente la quantité de mouvement du régulateur ; & immédiatement après le même effort de la roue diminue la force de mouvement ; ainsi plus l'arc par la levée sera grand, & celui de supplément petit, & moins les frottements de l'échappement seront capables de troubler l'isochronisme des vibrations.

Note sur les Couteaux de suspension.

2268. Nous avons dit (1552) qu'il faut proportionner la longueur du couteau à la pesanteur de la lentille ; mais cela ne suffit pas pour éviter l'affaissement des parties ; il faut de plus, & l'effet en est plus sûr, changer l'angle ou petite portion de cercle qui termine le couteau, selon que le pendule est léger ou pesant ; s'il est léger, le couteau peut être plus angulaire ; & s'il est pesant, il doit être émoussé ou formé par une portion d'un plus grand cercle ; dans ce dernier cas il y aura, à la vérité, plus de frottement ; mais, ce qui est avantageux, ce frottement sera constant.

Méthode pour prendre très-exactement l'heure du Temps-moyen par le paſſage du Soleil au Méridien (a).

2269. Prenez une montre à ſecondes que vous arrêterez au nombre de minutes & de ſecondes marquées par la table d'équation, pour l'année & jour actuel; faites marcher la montre à l'inſtant du paſſage du ſoleil au méridien, vous aurez exactement l'heure moyenne pour le jour donné; enſuite vous réglerez l'heure de l'horloge ſur celle de la montre; ainſi répétant pluſieurs fois la même opération, on verra ſi l'horloge avance ou retarde, & on la réglera en conſéquence.

EXEMPLE.

2270. Le 6 Février 1762, je veux avoir exactement l'heure du temps moyen, & m'en ſervir à vérifier en même temps la juſteſſe de mon horloge aſtronomique; je cherche dans la IIIe. table d'équation (placée à la fin de la premiere partie) l'heure du temps moyen; je trouve que lorſqu'il eſt midi au ſoleil; le temps moyen eſt 12 heures 14 minutes 34 ſecondes; j'arrête donc avant midi la montre à ſecondes, enſorte qu'elle marque juſte 12 heures 14 minutes 34 ſecondes, & j'attends le paſſage du ſoleil au méridien; dans ce moment je laiſſe marcher la montre, & j'ai préciſément l'heure du temps moyen: je me ſers de l'heure marquée par la montre, pour mettre l'horloge à la même heure, minute, & ſeconde. Le lendemain ou deux jours après, je recommence la même opération; & après avoir pris l'heure au ſoleil avec la montre, j'examine d'abord la différence de mon horloge avec l'heure de la montre; je monte

(a) Ce n'eſt point ici la place de cet article qui auroit dû être à la ſuite de la premiere Partie, Ch. XX. Lorſque j'en étois à cette Partie, cela ne me vint pas dans la tête: ce ne ſera pas le ſeul article qui ne ſoit pas mis à ſa place. On ſe rappellera que ceci n'eſt qu'un eſſai qui n'a pas été fait de ſuite, mais à meſure que les idées ſe ſont préſentées.

ou je descends la lentille en conséquence, & ensuite je mets les aiguilles à l'heure : je vérifie ainsi, à plusieurs reprises, la marche de l'horloge, jusqu'à ce qu'elle soit parfaitement réglée.

2271. On voit par cette méthode, qu'en même temps que l'on vérifie la justesse de l'horloge, l'on a la facilité de retoucher à la lentille, & de remettre ensuite les aiguilles à l'heure ; parce que pendant cette opération la montre conserve l'heure, ce que l'on ne pourroit pas pratiquer en vérifiant immédiatement l'heure du soleil avec celle de l'horloge; car pendant que l'on touche au pendule pour le régler, & aux aiguilles pour les remettre à l'heure, le soleil passe, & on est obligé d'attendre pour cela au lendemain, ce qui multiplie les opérations, & augmente le temps qu'il faut pour régler l'horloge.

CHAPITRE XLVI.

Additions à différentes parties des Montres ; compensations, frottements, &c.

Sur le lè calcul des pesanteurs de Balancier.

2272. LORSQUE nous avons calculé les forces de balancier, relativement à la force motrice, nous supposions que la force transmise au régulateur par la roue d'échappement, étoit proportionnelle au plus ou moins de force motrice ; mais cela ne peut avoir lieu que dans le cas où les frottements des pivots seroient proportionnels à cette force : or pour cela il est nécessaire d'augmenter & de diminuer la grosseur des pivots proportionnellement à la pression qu'ils reçoivent du moteur. Il est aisé de voir que, malgré que l'on

fît deux montres ſur le même calibre, en employant même peſanteur de balancier, même étendue de vibration, même force motrice, que pour peu que l'on changeât les groſſeurs des pivots, les deux montres n'iront pas avec la même juſteſſe, enſorte qu'il faudra augmenter ou diminuer la force motrice, ſelon que la montre variera du chaud au froid : or ſi cela eſt néceſſaire dans deux montres de même eſpece, à plus forte raiſon doit-on eſtimer & proportionner les frottements dans deux montres qui différent par la force de mouvement ; & c'eſt pour parvenir à ce but que nous avons conſtruit un compas propre à meſurer très-exactement la groſſeur des pivots ; par ce moyen, lorſque l'on aura exécuté une montre qui aille parfaitement dans tous les temps, on en fera toujours une autre qui ſoit auſſi exacte en partant d'après ſes dimenſions.

Deſcription du Compas propre à meſurer exactement les groſſeurs des pivots.

2273. La figure 12 de la XXXV Planche repréſente ce compas : *b c* eſt un limbe gradué en 48 diviſions ; l'aiguille *d e* porte deux pivots, dont l'un roule dans un trou fait au centre *f* du limbe, & l'autre pivot roule dans le trou fait au pont *g* : *a* eſt une piece d'acier fixée ſur le limbe ; elle forme avec la partie *d* de l'aiguille, la mâchoire ou compas qui doit meſurer le pivot, tandis que le bout oppoſé *e* de l'aiguille marque ſur le limbe le diametre du pivot en 48emes de ligne ; car lorſque les deux mâchoires *d*, *a* du compas ſe touchent, alors l'aiguille doit marquer exactement zéro, & quand la mâchoire *a*, *d* eſt ouverte d'une ligne, l'extrémité *e* de l'aiguille eſt écartée du point *o* du limbe de 48 diviſions ; ainſi lorſqu'un pivot ne fait parcourir à l'aiguille que trois diviſions du limbe, en partant de zéro, cela indique que le diametre du pivot eſt de $\frac{3}{48}$ de ligne, & ainſi de ſuite.

2274. Le reſſort *h* agit ſur une cheville *m* fixée à l'aiguille, ce qui l'oblige d'appuyer ſur le bout de la vis de

rappel *k* ; cette vis sert à donner aux mâchoires *a*, *d* l'ouverture exacte pour mesurer le diametre du pivot indiqué par le bout opposé de l'aiguille ; le bout *n* sert de manche à cet outil.

2275. Pour pouvoir estimer la plus petite différence dans la grosseur d'un pivot, j'ai donné deux pouces de rayon à l'arc gradué *b c* du limbe, & j'ai donné deux lignes de longueur aux mâchoires *a*, *d* : par ce moyen on peut estimer la grosseur d'un pivot jusqu'à la 96[e] partie d'une ligne. Nous nous servirons ci-après de cet outil pour donner les dimensions d'une bonne montre éprouvée selon nos principes.

Sur les résistances des huiles pour la compensation de l'action du chaud & du froid sur le Spiral.

2276. Quand après des peines infinies on est parvenu à composer & exécuter une montre qui ne varie point par les changements de température, position &c, enfin qui marche constamment avec la même justesse ; il est très-essentiel de noter toutes ses dimensions, afin de s'en servir pour terme de comparaison, pour construire une montre qui differe, soit par sa quantité de mouvement, vibration &c. Mais il ne suffit pas alors, comme nous avons fait ci-devant (1949 *& suiv.*), de comparer les forces de mouvement des deux montres ; car les résistances des huiles dans les pivots de balancier (seules causes de compensation des effets du froid sur le spiral), ne suivent pas la proportion des quantités de mouvement, elles sont plutôt en raison inverse ; c'est-à-dire que plus la quantité de mouvement de balancier augmentera, & plus les résistances des huiles diminueront (les pivots restant les mêmes) ; & par conséquent moins la compensation aura lieu. Il faut donc de plus, & cela est très-essentiel, comparer les frottements & résistances par les huiles dans les pivots de balancier, afin de les proportionner aux quantités de mouvements.

Proposition

Propoſition ſur la Compenſation.

2277. Il faut, pour la compenſation, que la réſiſtance des huiles, ou frottement des pivots de balancier produiſe par le froid un retard qui ſoit égal à l'accélération du même froid ſur le ſpiral (1887); mais la force du ſpiral doit être proportionnelle à la force de mouvement du balancier; & les changements d'élaſticité du ſpiral par le froid ſont auſſi proportionnels à la force du ſpiral. On tirera donc delà cette regle:

La réſiſtance des huiles dans les pivots d'un balancier doit être (pour la compenſation) à la réſiſtance des huiles d'un autre balancier où cette compenſation a lieu, comme la force de mouvement du balancier cherché eſt à la force de mouvement du balancier donné.

2278. Pour déterminer ce rapport, on ſe ſervira, 1°, des méthodes indiquées (1961) pour trouver les quantités de mouvement des balanciers; & 2°, pour avoir les réſiſtances des huiles dans les pivots du balancier donné, ou, ce qui revient au même, les frottements, on fera un produit de l'eſpace parcouru en une ſeconde, par exemple, par les pivots du balancier; or pour avoir cet eſpace, il faut meſurer le diametre des pivots, multiplier ce diametre par le nombre de vibrations en une ſeconde; enfin on multipliera ce produit par le poids du balancier: on fera le même calcul pour le balancier cherché, & l'on aura des produits qui exprimeront les frottements relatifs des pivots des deux balanciers. Mais comme par le principe (2277), le frottement des pivots du balancier cherché doit être proportionnel à la quantité de mouvement du balancier; afin que la compenſation ait lieu, on laiſſera une inconnue x qui repréſentera le diametre des pivots du balancier cherché; on fera la regle de Trois qui donnera la valeur de x; ou, ſi le diametre des pivots eſt donné, on trouvera le poids du balancier, & ainſi des autres dimenſions.

2279. Je m'étois propofé de donner des exemples pour mieux faire entendre les principes que je viens d'énoncer ; mais ce que j'ai encore à traiter, & le peu de temps que je puis donner à cet ouvrage m'en empêche : au refte, pour peu qu'un Artifte ait d'intelligence, il fuppléra aux applications.

REMARQUE.

2280. Il paroît d'abord par le principe que nous venons d'établir, qu'en fuppofant ces rapports donnés, une montre qui auroit peu de force de mouvement, comme celle à un mois, par exemple, devroit aller avec une jufteffe égale à celle qui allant 30 heures, auroit une grande force de mouvement ; mais cela n'eft vrai que pour les réfiftances des huiles, feulement dans les pivots de balancier qui compenferont les effets du froid fur le fpiral, en fuppofant que la force motrice eft conftante ; or dans une montre qui a peu de force de mouvement (*a*), cette fuppofition n'a lieu que pour le moment actuel où le reffort conferve toute fon élafticité, les huiles, leur fluide, enfin les frottements reftant les mêmes ; & auffi-tôt que ces chofes changeront, la montre fera des écarts confidérables, ainfi qu'il eft aifé de voir ; car l'effet du froid fur les huiles des pivots du rouage (d'une montre à un mois, par exemple,), peut être tel qu'il diminue une grande partie de la force qui eft à la circonférence de la roue d'échappement (1865) : or dans ce cas la montre doit varier ; 1°, parce que le balancier décrivant de plus petits arcs, les vibrations ne feront pas de même durée que par les grands arcs (1926) ; 2°, la

(*a*) Il faut d'ailleurs obferver que les limites de la diminution de mouvement dans une montre, a des bornes affez étroites ; car il faut fuppofer que l'on peut diminuer les frottements des pivots de balancier & du rouage à proportion de la force ; mais il y a un terme, paffé lequel, les pivots ne peuvent être réduits fans augmenter les frottements ; car plus ils feront fins, & plus ils tendent à détruire, à caufe que leur furface n'eft plus unie, mais compofée de petites parties angulaires qui coupent ; effet qui n'a pas lieu dans les pivots qui ont un certain diametre, & cela eft relatif à la configuration des parties de l'acier : enfin on ne doit diminuer la force de mouvement qu'au point convenable, pour que les changements des huiles par le froid & le chaud ne foient pas capables de changer fenfiblement la force communiquée à la roue d'échappement.

preſſion de la roue ſur le cylindre ſera beaucoup plus petite, & le frottement, par cette raiſon, ſera bien différent; il le ſera encore, parce que les huiles miſes à l'échappement, ſeront moins fluides, &c; & cela ſeul eſt capable de produire de grands écarts, & d'autant plus que ces frottements ſeront dans un grand rapport avec la force de mouvement du régulateur : il eſt donc encore évident que cette montre ſera préférable, qui aura une grande quantité de mouvement.

2281. Il ſuit auſſi de la même remarque, & de ce qui précede, que pour que la compenſation du chaud & du froid ait lieu, il faut que la force motrice ſoit conſtante; car ſi elle change, alors le balancier décrira de plus grands ou plus petits arcs, & par conſéquent les réſiſtances des huiles changeront à proportion; ce qui produira des écarts à la montre, qui ſeront plus ou moins grands, ſelon qu'elle aura plus ou moins de force de mouvement, ſelon la nature de l'échappement, &c. Nous ne nous arrêterons pas à l'analyſe de ces effets; car cela eſt ſuſceptible d'une infinie variété, ſelon les différentes combinaiſons de la machine; il ſuffit de faire ſentir ici la néceſſité d'une force motrice conſtante.

2282. Pour parvenir à rendre la force motrice auſſi conſtante qu'il ſe peut dans une montre, il y a trois moyens : le premier, c'eſt de donner une grande force de mouvement au régulateur, ce qui augmente à proportion le moteur, & par conſéquent les effets des huiles diminuent par le froid une très-petite partie de la force tranſmiſe à la roue d'échappement. Le ſecond moyen eſt de proportionner les ſurfaces des parties frottantes de la machine à la preſſion que chaque partie ſupporte, & ſur-tout relativement à la quantité que peut ſoutenir une matiere donnée, ſans que ſa ſurface en ſoit pénétrée & déchirée, condition eſſentielle pour rendre le frottement conſtant. Enfin le troiſieme moyen eſt de tellement diſpoſer la machine, que l'huile que l'on met aux parties frottantes, pour en adoucir le frottement, s'y conſerve long-temps, & en ſe renouvellant en quelque ſorte.

2283. Pour établir les dimenſions des parties frottantes,

il faut partir d'après l'expérience ; car c'eſt la ſeule voie à ſuivre , puiſque l'on ne peut pas déterminer immédiatement la quantité d'effort que peut éprouver , ſans ſe déchirer , un corps de telle maſſe qui ſe meut avec tant de vîteſſe, &c. Mais ſi je ſais par expérience qu'un balancier, par exemple, qui peſe tant, à telle vîteſſe, ayant des pivots de telle groſſeur, peut rouler ſur un autre corps , ſans que les parties de l'un ou l'autre ſe déchirent par un mouvement continué ; je pourrai , d'après cette connoiſſance , en conclure les dimenſions de tout autre balancier , roues , &c , en augmentant ou diminuant les ſurfaces , proportionnellement aux preſſions , vîteſſes , &c ; c'eſt-à-dire , en donnant des frottements relatifs à ceux connus.

Dimenſions d'une montre à demi-ſecondes , dont l'echappement eſt à cylindre.

Cette montre a été éprouvée par différentes températures ; & la compenſation ſe fait très-bien , les frottements rendus conſtants : on pourra donc partir d'après , pour conſtruire d'autres montres.

2284. La roue de fuſée fait un tour en 5 heures $\frac{1}{2}$.

2285. Le reſſort tire 3 gros $\frac{1}{2}$ appliqués à 4 pouces du centre de la fuſée.

2286. La roue de grande moyenne fait un tour par heure ; ſes pivots ont $\frac{5}{48}$ de ligne de diametre : cette roue peſe 5 grains.

2287. La petite roue moyenne peſe 2 grains $\frac{1}{4}$; ſes pivots ont de diametre lign. 0, $\frac{5}{48}$; elle fait un tour en 7 minutes $\frac{1}{2}$.

2288. La roue de champ peſe 1 grain $\frac{1}{8}$; ſes pivots ont de diametre lig. 0, $\frac{3+\frac{1}{2}}{48}$; elle fait un tour par minute : c'eſt un pivot prolongé de cette roue qui porte l'aiguille des ſecondes.

2289. La roue d'échappement peſe 1 grain $\frac{1}{8}$, ſes pivots $\frac{3}{48}$ de lign. diam. elle fait un tour en 15 ſecondes , ou 4 tours par minute ; & par conſéquent 240 par heure , &

1320 révolutions pour une de la fusée : cette roue a 15 dents ; le balancier fait donc 120 vibrations par minute, & 7200 par heure : le diametre de cette roue est de 3 lignes $\frac{1}{2}$.

2290. Le balancier pese avec la virole & le piton de spiral 13 grains, & 12 grains sans la virole & le piton. Ses pivots ont de diametre $\frac{3}{48}$; le diametre du balancier est de 9 lignes $\frac{1}{2}$; le diametre extérieur du cylindre $\frac{22}{48}$.

2291. L'arc de levée de l'échappement est de 45 degrés ; l'arc de vibration est de 280 degrés, lorsque la montre marche à plat.

Sur les frottements du Cylindre.

2292. Lorsqu'on travaille à rendre les frottements constants, il ne faut jamais perdre de vue ce principe : Qu'un corps donné ne peut soutenir qu'une certaine pression, sans que les parties frottantes se détruisent, & par conséquent sans que le frottement augmente. Si donc l'on a un grand balancier pesant, ayant des vibrations promptes & étendues, c'est-à-dire, une grande quantité de mouvement, & que ce balancier soit mu par un échappement à cylindre, alors le frottement sur le cylindre sera très-considérable, & il en résultera une prompte destruction, à moins que les dents de la roue ne soient fort épaisses ; car si ces dents sont aigues & minces, elles pénétreront les pores qui terminent la surface du cylindre, & déchireront cette surface, d'où suivra une très-grande augmentation de frottement & une prompte destruction, & des variations dans les vibrations du régulateur : l'épaisseur de la dent ou plan incliné dans une roue de cylindre doit donc augmenter à proportion de la force que cette roue doit transmettre au balancier ; & au lieu de terminer en angle les bouts des plans inclinés, il faut au contraire les arrondir afin qu'ils portent sur la plus grande surface : or pour ainsi proportionner l'épaisseur des dents, il est à propos de calculer la force transmise à la circonférence de la roue d'é-

chappement. En voici une méthode ſimple qui, à la vérité, n'eſt pas fort exacte, puiſque nous n'y faiſons pas entrer la conſidération des frottements du rouage ; mais elle l'eſt aſſez pour l'application que nous en faiſons ici.

2293. Pour trouver la force que le reſſort de la montre à ſecondes dont nous avons donné les dimenſions (2284 *& ſ.*) communique à la circonférence de la roue d'échappement, il faut réduire 3 gros $\frac{1}{2}$, force motrice, en 100emes de grain, & l'on a 252, 00, leſquels étant diviſés par 1320 nombres de révolutions de la roue d'échappement pour une de la fuſée, donnera la force communiquée à la roue d'échappement ſuppoſée de 4 pouces de rayon : la diviſion faite, on trouve $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$; mais comme la roue d'échappement n'a que $\frac{21}{12}$ de rayon, il faut multiplier $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$ par le nombre qui exprime de combien le rayon 4 pouces de la fuſée où le poids eſt appliqué, eſt plus grand que le rayon de la roue d'échappement ; ce nombre eſt 27 $\frac{3}{7}$ qui multiplié par $\frac{19+\frac{1}{11}}{100}$ donne 5 grains $\frac{24}{100}$; c'eſt-à-dire, qu'en faiſant abſtraction des frottements des pivots & de l'inertie des roues, la roue d'échappement a à ſa circonférence une force de 5 grains $\frac{24}{100}$: or pour éviter la deſtruction du cylindre, je donne $\frac{1}{12}$ d'épaiſſeur aux dents de cette roue, afin que ſa preſſion ne ſoit pas capable de déchirer la ſurface du cylindre.

2294. Nous obſerverons encore ici ſur les frottements du cylindre, que plus les frottements des pivots de balancier ſont réduits, & plus la force motrice doit être grande, afin d'augmenter l'étendue des vibrations, pour que la compenſation par le chaud & le froid ait lieu ; d'où il ſuit que dans une telle montre la preſſion ſur le cylindre en eſt plus conſidérable, & par conſéquent les frottements plus grands, & ainſi des variations que ce frottement produit ; donc il feroit préférable de faire de plus gros pivots de balancier : on diminueroit par ce moyen l'étendue des vibrations & le frottemenr du cylindre.

2295. Il faut encore remarquer, par rapport aux frot-

tements, que quoique dans deux montres de même eſpece on ait fait les pivots de même groſſeur, les roues de même poids, le reſſort de même force, enfin toutes les dimenſions parfaitement les mêmes, il peut très-bien arriver que les frottements ne ſoient pas les mêmes, ſur-tout ſi ces montres ſont à cylindre; car l'acier dont les cylindres ſont formés, peut aſſez différer pour produire des frottements différents; les ſurfaces des pivots peuvent être moins unies dans les uns que dans les autres, ce qui dépend encore de la nature de l'acier; les pivots qui ſont moins durs ont auſſi plus de frottement; le cuivre dont les trous ſont formés, peut être plus ou moins poreux, moins pur, &c; ainſi quoique l'on ait employé tout l'art imaginable à deux montres, on ne doit pas encore s'attendre qu'elles marchent avec la même juſteſſe : il eſt vrai que les écarts uniquement produits par la variabilité des matieres ne peuvent pas cauſer des écarts bien ſenſibles, & l'on peut d'ailleurs les corriger; mais il eſt bon d'enviſager, ſous toutes ſes faces, ce qui contribue à la juſteſſe de ces machines.

2296. Enfin, indépendamment des cauſes de variation dans les montres que j'ai parcourues ci-devant, il y en a encore d'autres qui pour être moins apparentes, ne ſont pas moins réelles; car ces machines ſont ſujettes à des écarts, lors même qu'il n'arrive pas de changement ni dans la température, ni dans la poſition de la montre, enfin lorſqu'il paroît que les frottements doivent être les mêmes : or ces variations peuvent être cauſées, 1°, par les changements de peſanteur de l'atmoſphere; 2°, par la différente élaſticité du ſpiral; car malgré que nous ne connoiſſions que l'action du chaud & du froid ſur un reſſort, il peut y avoir d'autres cauſes qui en changent la force : 3°, l'humidité & la ſécchereſſe peuvent changer la nature des frottements. Je n'ai pas pu, juſqu'ici, faire des expériences qui m'autoriſent à poſer rien de certain : ce ne ſont donc ici que des conjectures. Au reſte ſi les écarts que j'ai remarqués ſont cauſés par une des choſes ſuppoſées, ou par pluſieurs, il eſt évi-

dent qu'on en diminuera d'autant plus les effets, que les montres auront une grande quantité de mouvement, & que les frottements feront réduits & rendus conftants.

Remarques fur la maniere de rendre les frottements conftants.

2297. Puifque la jufteffe des montres dépend du rapport des frottements avec la force de mouvement du régulateur (2277) & de la conftance des frottements (2281), il faut rechercher tous les moyens qui peuvent y conduire : nous avons déja traité ces deux objets, nous ajouterons feulement quelques remarques au dernier.

2298. 1°, Les groffeurs des pivots étant données, on rendra les frottements conftants en exécutant ces pivots avec foin, en forte qu'ils foient parfaitement ronds, d'acier pur, bien poli, &c ; on apportera ces mêmes foins aux trous : pour cet effet il faut employer du cuivre de chaudiere bien durci ; on aura foin de proportionner la longueur du pivot & du trou à fon diametre : la regle que je me fuis faite eft de donner pour longueur du pivot, deux fois fon diametre.

2299. Pour rendre les frottements les plus petits poffibles, il eft très-effentiel de répartir la preffion qui fe fait fur un pignon, de forte que chaque pivot en fupporte la moitié, (voyez Iere Part. 941) : même obfervation pour les balanciers, roues, &c. Voilà le plus grand avantage des barrettes que l'on met fur ces platines. Il eft même à propos, pour parvenir au même but dans les pieces à répétition, de mettre, ainfi que je le fais, des ponts en dedans des platines, afin d'accourcir les tiges, de maniere que le pignon fe trouve également diftant des deux pivots ; il eft évident que dans ce cas la preffion fe divife fur chaque pivot, & qu'on peut les tenir plus petits : on diminue donc par ce moyen le frottement en le rendant plus conftant.

2300. 3°, Il faut réferver aux trous des pivots de profonds

fonds réservoirs qui contiennent une assez grande quantité d'huile, pour pouvoir se conserver long-temps. Or par la disposition des frottements, il ne pourra se détacher que très-peu de particules de matieres des parties frottantes, ainsi les huiles resteront mobiles, & le frottement constant.

2301. 4°, On met communément des calottes aux montres à cylindre ; mais outre que souvent elles gênent le mouvement, & en augmentent le volume, je crois qu'elles sont assez inutiles pour empêcher la poussiere d'entrer dans le mouvement ; car ces calottes sont percées de trous par où la poussiere s'introduit, & en aussi grande quantité que s'il n'y avoit pas de calotte : il seroit donc préférable, en faisant l'emboîtage de la montre, de supprimer le ressort de la boîte, parce que le bouton de ce ressort ne joint jamais assez parfaitement pour empêcher le passage de la poussiere ; j'aimerois mieux ne faire fermer ces boîtes que par le simple embichetage ; la boîte en ferme beaucoup mieux.

2302. 5°, Il est très-essentiel, comme on sait, de mettre de l'huile pour adoucir le frottement des pivots, & autres parties frottantes d'une montre ; mais il n'est pas du tout indifférent de prendre telle ou telle huile ; c'est au contraire de sa nature que dépend la plus grande uniformité dans les frottements ; car si on se sert d'huile qui soit très-fluide dans le moment actuel où on l'emploie, alors les frottements seront très-petits ; mais cette huile dont les parties sont si mobiles, s'évapore (*a*) très-promptement, en sorte qu'il reste une matiere gluante qui augmente considérablement le frottement ; voilà ce qui arrive aux huiles préparées. Il n'est

(*a*) L'huile ne s'évapore pas également dans toutes les parties de la montre ; cela dépend du plus ou moins de frottement, & selon que l'huile est rassemblée ou exposée par petites parties à l'action de l'air : par exemple, si on place une grande goutte d'huile dans le réservoir d'un pivot, elle sera beaucoup plus de temps à s'évaporer, que ne le seroit la même quantité d'huile mise à un échappement à cylindre ; car dans le premier cas, l'huile présente une moindre surface, au lieu que dans le second, chaque dent de la roue emporte une partie de l'huile, d'où suit une plus grande surface exposée à l'air, & par conséquent une prompte évaporation : aussi ai-je toujours vu l'huile de l'échappement plus promptement desséchée que celle des pivots.

pas aisé de choisir entre ces deux choses : il faudroit que l'huile que nous employons dans nos montres fût très-mobile, à cause du peu de force de ces machines ; & il faudroit en même temps que cette huile se conservât très-long-temps dans le même état, & c'est ce qui ne se peut ; car si l'huile est fluide, & qu'on veuille que le froid ne la congele pas aisément, elle s'évaporera en peu de temps ; & si elle est grasse, elle causera une plus grande résistance. Au reste, il est préférable d'employer cette derniere espece d'huile, parce qu'il vaut encore mieux que la résistance soit plus grande, mais qu'elle soit permanente : j'emploie avec succès d'excellente huile d'Aix sans préparation ; la plus fraîche & la plus pure est la meilleure.

2303. Il faut encore observer, par rapport aux huiles, que l'on n'en doit pas employer de la même sorte pour tous les frottements ; car dans une grosse horloge de clocher, dont les roues sont pesantes & la force motrice grande, alors il est besoin de se servir d'huile fort grasse & épaisse, qui s'étende sur les parties frottantes ; car si on emploie de l'huile très-fluide, comme elle n'a point de corps, elle s'échappera de dessous les parties frottantes, & celles-ci se gripperont comme si on n'avoit pas mis d'huile, d'où suit la destruction ; en un mot il faut que la matiere ou graisse que l'on met pour adoucir le frottement, ait une consistance relative à la pression ; c'est ainsi que pour le frottement de l'aissieu d'un carosse, de l'huile d'Aix serviroit aussi peu que de l'eau.

Description d'une Machine à fendre toutes sortes de Roues de Montres, Roues plates, Rochets, Roues de rencontre enarbrées, & qui sert à former les Roues de cylindre.

2304. Quoique je ne pense pas, ainsi qu'on l'a dû voir ci-devant, que l'échappement à cylindre soit aussi bon que

celui à roue de rencontre pour les montres ordinaires, il faut convenir qu'il eſt très-commode pour les montres à ſecondes, à vibrations lentes ; & c'eſt pour cette raiſon que je crois devoir parler en paſſant de ſa conſtruction, & de quelques ſoins d'exécution ; cela pourra d'ailleurs ſervir à diriger les Ouvriers qui veulent en faire uſage. Or pour rendre l'exécution de cet échappement plus facile, je joins ici la deſcription & le plan d'un outil à fendre, qui, outre la propriété de figurer les roues de cylindre, ſert à fendre les roues plates ordinaires, & les roues de rencontre enarbrées. Je crois faire plaiſir à grand nombre d'Ouvriers, en leur donnant une machine qui étant aſſez ſimple, ſert aux uſages les plus eſſentiels des montres : cette machine, telle qu'elle eſt, n'a pas encore été exécutée ; mais chaque partie l'a été ſéparément ; je n'ai que le mérite de raſſembler dans la même machine des effets dont on fait un fréquent uſage ; ainſi elle ne peut qu'être très-bonne.

2305. La premiere figure de la Planche XXXVI repréſente cette machine toute montée dans la ſituation où elle doit être pour former l'intervalle des colonnes de roues de cylindre. La partie *A* du chaſſis *A B C D*, ſert à l'attacher à l'étau ; ce chaſſis forme avec la platine *C D* la cage dans laquelle ſe meut la plate-forme ou diviſeur *E* ; le diviſeur eſt fixé au moyen de trois vis ſur l'axe *F* ; le bout ſupérieur de cet axe roule dans le haut d'un trou conique fait au pont *G* (*a*) formé ſur le chaſſis même *A B* ; le bout inférieur de l'axe *F* roule ſur le bout de la vis *H* portée par le talon *I* formé ſur la platine *C D* ; ce talon ſert à placer la plate-forme ſur l'étau, & lui donner la ſituation horizontale néceſſaire pour fendre les roues plates & de rencontre &c : le chaſſis *A K G B C* eſt de cuivre fondu d'une ſeule piece ; la platine *C D* (de même matiere) s'aſſemble avec ce chaſ-

(*a*) L'élévation *G* eſt néceſſaire pour rendre les ajuſtements des taſſeaux plus ſolides ; car alors l'effort de la fraiſe ſe fait tout contre l'appui du taſſeau dans l'arbre *F*.

ſis au moyen des écrous 1, 2 qui entrent à vis ſur les bouts taraudés du chaſſis *A B*.

2306. L'alidade *L L* a deux ſortes de mouvements : le premier par lequel elle tourne ſur ſon centre 3, afin de faire poſer ſa pointe ſur l'un ou l'autre cercle concentrique du diviſeur. Le ſecond mouvement de l'alidade eſt celui par lequel la pointe étant poſée dans un des points de diviſion du diviſeur, on peut faire tourner celui-ci en avant ou en arriere pour préſenter la dent d'une roue contre la fraiſe ; comme ſi, par exemple, ayant fendu une roue ſur 60, on vouloit la ſubdiviſer encore en autant de parties ; ce mouvement eſt ſur-tout néceſſaire pour tailler les roues de cylindre ; ce mouvement de l'alidade eſt produit par l'écrou de rappel *M* qui entre à vis ſur la partie 4 de l'alidade ; cet écrou *M* eſt retenu avec une clavette après la piece *N* qui ſe meut autour du centre 3 ; ainſi à meſure qu'on tourne l'écrou, on fait avancer ou reculer l'alidade, & par conſéquent le diviſeur *E*. Nous expliquerons ci-après l'ajuſtement de l'alidade : on ſait d'ailleurs qu'elle eſt flexible pour pouvoir être ſoulevée pour faire poſer la pointe ſur les points de diviſion du diviſeur.

2307. L'*H* (*fig.* 5) qui ſert à fendre les roues plates & roues de rencontre, s'ajuſte à l'ordinaire ſur la piece *O P* (*fig.* 1) portée par le coulant *Q Q* ; la pointe de la vis *a* (*fig.* 5) entre dans le point *O* (*fig.* 1), & l'autre pointe *b* (*fig.* 5) dans le point oppoſé à *O* (*fig.* 1) ; la piece *R* qui porte le point *O* & ſon oppoſé qui n'eſt pas vu, eſt portée par la piece coudée *O P*, & elle peut tourner ſéparément ſur le centre *S*, afin d'incliner l'*H* du nombre de degrés, dont on veut que les dents de la roue de rencontre ſoient inclinées à l'axe : pour cet effet, le bord de cette piece *R* eſt gradué en degrés de cercle ; on trace un trait ſur la piece *O* qui ſert d'index, pour aſſembler ces deux pieces *R* & *O P* ; celle *R* porte une tige parfaitement tournée ronde, qui entre très-juſte dans le trou fait au centre *S* de la piece *O* ; le bout de cette tige eſt taraudé pour recevoir

l'écrou *S*, dont la preſſion fixe les pieces *R* & *O*, en donnant à celle *R* l'inclinaiſon que l'on veut : cette inclinaiſon doit être zéro lorſque l'on doit fendre les roues plates ; c'eſt-à-dire, que l'*H* doit être parallele au diviſeur, ſans quoi les dents ſe fendroient à *vis ſans fin* (*a*).

2308. La piece *O P* s'applique ſur le coulant *Q Q* après laquelle elle ſe fixe au moyen de l'écrou 5 qui entre ſur la vis faite à une broche fixée à la baſe *Q* ; la piece *P* a un trou qui entre très-juſte ſur cette broche dont on voit le bout qui ſaille au-deſſus de l'écrou 5. Ce mouvement de la piece *O P* ſert à donner à l'*H* l'inclinaiſon que l'on veut, ſoit pour fendre un rochet ou pour incliner les dents des roues de cylindre ; pour cet effet, il faut graduer le deſſus du coulant *Q* en degrés de cercle, & fixer à la piece *P* un index 6 pour indiquer l'inclinaiſon que l'on donne à l'*H*.

2309. Quand on fend une roue ordinaire, il faut, pour que ſes dents tendent parfaitement au centre de la roue, c'eſt-à-dire, qu'elles ne ſoient pas en rochet ; il faut, dis-je, que l'axe de la fraiſe ſoit perpendiculaire à la fente 7, 8 dans laquelle le coulant *Q Q* ſe meut ; & il faut que cette fente 7, 8 ſoit parfaitement dirigée au centre de la plate-forme : enfin il faut pour remplir cette condition, que le plan de la fraiſe paſſe par le centre du diviſeur. Quand on a trouvé cette poſition de l'*H*, on marque zéro ſous la pointe de l'index 6 ; & c'eſt de ce point que l'on commence les degrés d'un ou d'autre côté : cela étant ainſi arrangé, à chaque fois que l'on veut fendre une roue ordinaire, on arrête la piece *O P* ſur le coulant *Q Q*, de maniere que l'index ſoit à zéro ; on place ſur le porte-fraiſe, la fraiſe dont on veut ſe ſervir pour fendre ſa roue ; on fait mouvoir le coulant au moyen de la vis de rappel *T*, juſqu'à ce que la fraiſe ſoit tout contre la pointe du taſſeau ; alors on fait mouvoir (ſelon ſa longueur) l'arbre *A* (*fig.* 5) au moyen des vis *B*, *C*, & de ſorte que le milieu de

(*a*) C'eſt le terme dont ſervent les Ouvriers, pour dire que le flanc d'une dent de roue ou de pignon eſt incliné à l'axe de la roue, ou, ce qui revient au même, lorſque le flanc de cette dent n'eſt pas perpendiculaire au plan de la roue.

l'épaisseur de la fraise passe par la pointe du tasseau ; on recule ensuite le coulant jusqu'à ce que la fraise n'anticipe sur la roue à fendre que de la quantité d'enfoncement qu'il faut donner aux dents.

2310. Le coulant *Q Q* porte un talon formé au-dessous de la base *Q*, & dans toute la longueur *Q Q* ; ce talon entre très-juste dans la fente 7, 8, faite au chassis *B*, & c'est ce qui forme le coulant ; ce talon est percé d'un trou fait à vis, dans lequel entre la vis de rappel *T* ; cette vis porte un colet qui est retenu au bout du chassis *B* par la plaque *9* attachée par trois vis ; ainsi le coulant se meut selon le sens dont on fait tourner la vis de rappel : pour empêcher le coulant *Q Q* de s'écarter du chassis *B*, le talon qui passe dans la fente 7, 8, porte une vis prolongée qui entre dans l'écrou *V* ; ainsi en serrant cet écrou, on fixe très-solidement le coulant après le chassis.

2311. L'arbre *F* de la plate-forme est percé dans toute sa longueur, d'un trou propre à y faire entrer les tasseaux *A* & *B* (*fig. 3*) : le trou de l'arbre doit être fait avec beaucoup de soin ; & il ne suffit pas de l'agrandir avec un équarrissoir, il faut de plus le faire entrer sur une espece d'arbre lisse mis sur le tour ; on introduit de la pierre à l'huile broyée, & on fait rouler l'arbre lisse pendant qu'on retient l'arbre de la plate-forme, & jusqu'à ce que le trou de celui-ci soit parfaitement uni & droit : on appelle cette opération *roder* un trou.

2312. Quand le trou est parfaitement rodé, alors on peut tourner l'extérieur : pour cet effet, après avoir nettoyé l'arbre lisse & le trou de l'arbre, il faut rendre l'arbre lisse fixe sur le tour, & mettre l'archet sur l'arbre de la plate-forme ; on tournera celui-ci, & par ce moyen on sera assûré que le trou est parfaitement concentrique au-dehors de l'arbre.

2313. Le tasseau est retenu après l'arbre de la plate-forme par la clavette *X* qui traverse l'arbre & le tasseau ; cette clavette passe dans la fente pratiquée à l'un & l'autre, comme

on le voit en *C* (*fig*. 3) : le bas de cette fente eſt angulaire, & le deſſous de la clavette eſt de même figure ; c'eſt pour empêcher que le taſſeau ne puiſſe tourner ſéparément de l'arbre. La preſſion de la clavette ſur le fond de la fente du taſſeau eſt produite par un écrou *Y* (*fig*. 1) : qui entre ſur la vis faite en *Y* à l'arbre *F* : cette vis doit ſe faire ſur un *tour à vis*.

2314. L'arbre de la plate-forme ainſi préparé, il eſt à propos, lorſque la vis *Y* eſt formée & la fente de la clavette faite, de roder encore le trou, afin d'ôter les bavures &, pour le dreſſer, au cas qu'en faiſant la vis, on l'eût courbé ; il ne reſte enſuite qu'à fixer au bout inférieur de l'arbre un tampon bien ajuſté qui porte la pointe conique qui doit aller rouler ſur le trou conique fait à la vis *H*.

2315. *W* eſt un contre-écrou qui ſert à empêcher la vis *H* de ſe deſſerrer lorſqu'on a donné le jeu convenable à l'arbre de la plate-forme.

2316. On a pratiqué ſur l'arbre *F* en deſſous de la clavette un cuivrot *Z* qui ſert à faire tourner cet arbre avec un archet, lorſqu'on veut centrer les roues de rencontre pour les fendre *enarbrées* : nous expliquerons cela ci-après.

2317. Pour fixer les roues de montres ſur leurs taſſeaux, on ſe ſert de deux moyens ; le premier, c'eſt par des taſſeaux à vis pareils à ceux des pendules ; le ſecond, c'eſt par la ſimple preſſion d'un levier ſur un petit cône ou *pain de ſucre* ; nous en avons expliqué la diſpoſition (434) ; la figure 2 repréſente ce levier placé dans ſa chape ; la vis *A* entre dans un trou fait en deſſous de *A A* (*fig*. 1), dans le chaſſis ; ce trou ne peut être vu, parce qu'il eſt recouvert par la piece *A A* qui porte l'*H* à tailler les roues de cylindre : tout cet ajuſtement *A A*, *B B*, *C C* qui ne ſert que pour les roues de cylindre, s'ôte de deſſus la plate-forme quand on veut fendre les roues ordinaires & de rencontre.

2318. Le chaſſis *A* eſt prolongé, & porte la partie *K* ſur laquelle eſt ajuſté le rouleau *K* qui ſert à recevoir le bout *A* du levier (*fig*. 2) ; l'autre bout *B* du même levier porte un point conique dans lequel entre la pointe du pain

de ſucre *d* (*fig.* 3) : la preſſion de ce levier eſt produite par la vis *C* (*fig.* 2) ; c'eſt cette preſſion qui fixe la roue que l'on peut fendre entre les baſes *c* & *d* du taſſeau (*fig.* 3).

2319. Le taſſeau *A* (*fig.* 3) eſt d'acier ; il eſt percé dans toute ſa longueur d'un trou propre à recevoir le petit taſſeau *D* ; la partie conique *a* des taſſeaux *A* & *B* entre ſur le bout de l'arbre de la plate-forme qui eſt auſſi tourné en cône (*a*) ; par ce moyen la preſſion de la clavette centre toujours parfaitement les taſſeaux.

2320. Le trou du taſſeau *A* eſt rodé de la même maniere que celui de l'arbre de la plate-forme ; & le dehors eſt tourné par la même méthode ; le bout *b* du taſſeau eſt rendu conique, lorſque le taſſeau eſt attaché ſur l'arbre de la plate-forme ; & en faiſant rouler celui-ci, comme nous venons de le dire dans la note de l'art. 2319.

2321. Le taſſeau *D* (*fig.* 3) eſt d'acier trempé & tourné parfaitement rond ; la petite baſe *c* eſt taillée comme une lime, ainſi que le deſſus *d* du pain de ſucre. Par ce moyen la preſſion du levier (*fig.* 2) fixe très-ſolidement la roue. La partie conique *e* du taſſeau *D* entre ſur le bout conique du trou *b* du taſſeau *A* ; ainſi ces taſſeaux étant ajuſtés avec les précautions indiquées, les roues ne peuvent manquer de ſe trouver parfaitement concentriques à la plate-forme. On voit que le ſeul frottement du cône retient le petit taſſeau *D* ſur celui *A* ; mais cela eſt ſuffiſant, & l'ajuſtement eſt infiniment préférable aux petits taſſeaux ajuſtés quarrément dont on faiſoit uſage ci-devant ; & d'ailleurs ces petits taſſeaux tournés ſont très-faciles à faire : on en a de diverſes grandeurs, ſelon le diametre des roues plates que l'on a à fendre.

2322. Pour fendre les roues de rencontre enarbrées, on ſe ſert d'un taſſeau (*fig.* 11) qui ne porte point de tige, comme celui *B* (*fig.* 3) ; il eſt au contraire percé pour

(*a*) Pour former ce cône du bout ſupérieur du trou, il faut attendre que l'arbre ſoit ajuſté dans le chaſſis ; alors faiſant tourner l'arbre par un archet dont la corde paſſe ſur le cuivrot *Z*, cet arbre ſera comme un arbre en l'air : on attachera le chaſſis à l'étau avec un ſupport ; & avec un burin on figurera la partie conique qui ſera parfaitement concentrique à l'arbre.

y laiſſer entrer le pignon & la tige de la roue de rencontre : pour fixer la roue ſur ce taſſeau, on ſe ſert d'excellente cire d'Eſpagne ; on fait chauffer le taſſeau juſqu'à ce que la cire ſoit fondue, & on poſe la roue deſſus, on l'appuie de ſorte qu'il ne reſte pas de cire entre la baſe du taſſeau & le deſſous de la roue ; & pour le mieux, il faut que la cire ne faſſe qu'entourer le bas du champ de la roue ; pendant que le taſſeau eſt chaud, on le place ſur la plate-forme qui eſt attachée à l'étau par ſon talon *I* ; ainſi ſa poſition eſt horizontale : on poſe ſur le chaſſis le pont (*fig.* 10) en place de *A A* (*fig.* 1) qui doit être ôté : on met un archet ſur le cuivrot *Z*, on fait poſer le bout *A* de la tige *A B* (*fig.* 10) ſur le bout du pivot : la preſſion du poids *B* contient la roue de rencontre appliquée ſur ce taſſeau, ce qui la maintient droite. Pour la centrer, on appuie avec une pointe contre le champ de la roue, pendant qu'avec l'autre main on fait tourner la plate-forme avec l'archet ; par ce moyen la roue tourne parfaitement rond, & devient concentrique à l'arbre de la plate-forme ; mais pour que la roue ſe centre ainſi, il faut que la cire ſoit chaude ; pour cet effet, il faut que la machine ſoit toute préparée quand on place le taſſeau échauffé : au reſte on peut aiſément faire chauffer le taſſeau tout monté ſur la plate-forme, ſe ſervant pour cela d'une petite bougie, & prenant garde ſur-tout que la flamme n'aille pas donner ſur la roue, ce qui l'amolliroit ; quand la roue eſt fendue, on fait chauffer le taſſeau pour en ſéparer la roue ; & pour ôter la cire qui s'eſt attachée à la roue, il ne faut que jetter celle-ci dans de l'eſprit-de-vin.

2323. Le trou du chaſſis qui ſert à recevoir la vis *A* de la chape (*fig.* 2), ſert auſſi à recevoir la vis qui fixe le pont *C* (*fig.* 10) après le chaſſis.

2324. La figure *6* fait voir le développement de l'alidade. La piece *A* de cuivre ſe fixe par une vis au montant *B C* du chaſſis (*fig.* 1) ; cette piece *A* (*fig.* *6*) eſt fendue en *B* pour recevoir la piece d'acier coudée, ou porte-alidade *C D* ; celle-ci tourne autour du centre *a*, y étant re-

tenue par une vis à portée qui entre très-juſte dans le trou fait à la piece coudée *C D* : cette vis entre dans le trou taraudé *a* ; ainſi la preſſion de cette vis fait mouvoir le porte-alidade *C D* à frottement ſur la piece *A* : le bout taraudé *E* de l'alidade *E F* entre dans le trou de l'écrou *G* ; la partie *b* de cet écrou entre juſte dans le trou *c* du porte-alidade *C D* ; & cet écrou porte la rainure *d*, dans laquelle entre la clavette *H* ; cette clavette s'applique contre le dedans *e* du porte-alidade, après lequel elle eſt retenue par des goupilles qui entrent dans les trous 1, 2 faits en *H*, & 3, 4 faits en *C*, enſorte que l'écrou *G* ne peut que tourner ſans s'écarter du porte-alidade : ainſi en tournant cet écrou, on fait mouvoir l'alidade *E F* ſelon ſa longueur.

2325. Pour rendre l'alidade inébranlable ſur la piece coudée *C D*, en ne lui laiſſant que la faculté de ſe mouvoir ſelon ſa longueur, elle eſt retenue en *D* par une vis à aſſiette qui entre très-juſte dans la fente *I* : cette vis entre dans le trou *D* ; ainſi la preſſion de cette vis fixe l'alidade ſur l'appui *D*, le bout *E* eſt retenu par l'écrou dans le trou *c*.

2326. La vis *K* eſt terminée en pointe pour poſer dans les points du diviſeur : on change, comme on veut, la preſſion de l'alidade contre les points du diviſeur, en tournant cette vis *K* d'un ou d'autre côté; le contre-écrou *L* ſert à arrêter la vis au point convenable, pour la tenſion de l'alidade.

2327. Voilà ce qui concerne la machine ordinaire pour fendre les roues plates & les roues de rencontre enarbrées : il nous reſte à décrire le méchaniſme de cet outil qui ſert à tailler les roues de cylindre.

2328. Pour bien concevoir ce méchaniſme, il eſt à propos de ſe repréſenter la forme d'une roue de cylindre. Pour cet effet, il faut jetter les yeux ſur les figures 1 & 2 de la XVe planche où l'on a repréſenté fort en grand une roue de cylindre en perſpective, & de profil ; enfin les figures 8 & 12 de la planche XXXVI font voir de profil une roue de cylindre prête à tailler ; & la figure 9 repréſente la même roue en plan : elle eſt vue avec les différentes

gradations qu'elle reçoit lorſqu'on l'exécute. Comme il eſt néceſſaire d'entendre ces gradations d'exécution pour bien concevoir le méchaniſme qui ſert à cela, nous allons les décrire.

2329. Dans la figure 8, *a b* repréſente le dehors de la roue vue de profil ; la partie ſaillante *a a* eſt l'épaiſſeur qui doit ſervir à former les dents ou plans inclinés, & *b b* eſt ce qui forme les colonnes (on appelle plan incliné ou dent la partie *a b*, (*Planche XV fig.* 1), & *e* eſt la colonne) ; la figure 12, (*Planche XXXVI*) fait voir la coupe de la roue par ſon diametre ; ainſi on voit les dimenſions de toute la roue ; l'épaiſſeur *a* du fond, l'épaiſſeur *b c* qui doit former les colonnes ; & enfin la largeur *d e* des dents. Lorſque la roue eſt tournée ſelon cette figure, on fait les croiſées, comme on le voit (*fig.* 9) ; on agrandit le trou de maniere à le faire entrer très-juſte ſur la tige *b* du taſſeau * *B* (*fig.* 3) ; le côté vu (*fig.* 9) doit être le deſſus de la roue lorſqu'on veut la fendre ; on recouvre la roue avec la plaque *c* (*fig.* 3), & on fixe la roue avec quatre vis : la roue fixée ſur le taſſeau, on place celui-ci ſur l'arbre de la plate-forme ; on met en place l'*H* (*fig.* 5) ; on ajuſte ſur le porte-fraiſe *A* une fraiſe mince qui ait pour épaiſſeur environ $\frac{1}{10}$ de la longueur que doit avoir le plan ; on fend la roue comme une roue plate ; on prend un nombre quadruple de celui des dents qu'elle doit avoir, c'eſt-à-dire, que ſi elle a 13 dents, il faut ſe ſervir du nombre 52 ; on fera 26 fentes (par la raiſon que la dent de la roue doit être alternativement logée dans le cylindre, & celui-ci dans l'intervalle des dents de la roue) : il ne faut pas trop enfoncer ces fentes de la roue ; mais il faut qu'il reſte, comme on le voit en *a* (*fig.* 9), une épaiſſeur qui ſervira à ſoutenir la roue pendant qu'on la taillera ; on fendra ainſi tout le tour de la roue, & elle prendra la figure telle qu'on la voit dans la partie 1, 2, 3 (*fig.* 9).

* Il faut avoir des taſſeaux de pluſieurs grandeurs, afin qu'ils anticipent ſur le champ de la roue, pour l'empêcher de ſe courber en la taillant, ce qui ne manqueroit pas d'arriver, ſi elle n'étoit ſoutenue que par les croiſées.

Cela fait, on changera la fraiſe mince, & on en mettra une qui ſoit plus épaiſſe que l'intervalle entre 1 & 2 de la roue ; c'eſt de cette fraiſe dont on fera uſage pour former les plans inclinés des dents. Pour cet effet, il faut 1°, avancer la plate-forme d'une diviſion, enſorte que la fraiſe ſe préſente dans le milieu de la dent ; on fera à cette dent une petite marque propre à la diſtinguer ; 2°, il faut incliner la piece *OP* (*fig.* 1) de la moitié du nombre de degrés de levée que doit produire une dent ſur une levre du cylindre : ſi, par exemple, on veut que la levée totale de l'échappement ſoit de 40 degrés, la levée par une dent ſur une des levres du cylindre ſera de 20 degrés ; ainſi il ne faudra incliner l'*H* que de 10 degrés, & ainſi de ſuite pour toute autre levée ; enfin cela étant ainſi préparé, on fera mouvoir le porte-fraiſe ſelon ſa longueur, juſqu'à ce que la fraiſe ſe préſente vis-à-vis la dent marquée ; alors on coupera avec la fraiſe, & on formera les plans inclinés, comme on le voit en 4 & 5, &c (*fig.* 9) ; on fera ainſi tout le tour de la roue, mais on ſe diſpenſera d'incliner toutes les dents, & ſeulement de deux l'une ; car il eſt inutile de travailler les dents qui doivent former les vuides ou ſéparations entre chaque dent : on *ſautera* donc pour chaque dent quatre points du diviſeur.

2330. Les plans inclinés ainſi faits, il faut former les vuides *6*, *7*, *a*, &c. Pour cet effet, voici ce que l'on a imaginé, & c'eſt ici où commence l'uſage de l'*H*, *B B*, *C C* porté par la potence *A A* (*fig.* 1) : *a b* eſt un petit arbre en l'air porté par l'*H*, *B B* ; cet arbre porte une fraiſe cylindrique *c* qui ne coupe que par ſa circonférence ; cette fraiſe doit avoir pour diametre l'intervalle *b c* (*fig.* 9), moins l'épaiſſeur convenable pour la colonne *d* ; c'eſt cette fraiſe qui forme les intervalles *6*, *7*, &c (*fig.* 9) ; l'*H* eſt mobile ſur deux vis *d*, *e* (*fig.* 1) dont les pointes entrent dans les points *a*, & l'oppoſé *b* faits à la boîte *A* (*fig* 4) ; cet *H* décrit par ſon mouvement un petit arc qui ſert à produire l'enfoncement entre les colonnes ; cet arc doit être dirigé au centre de la roue ; ainſi il faut que la poſition de l'*H* ſoit telle que la ligne qui paſſe par le centre

de l'arbre en l'air *a b*, & des vis *d*, *e*, ſoit perpendiculaire au rayon tiré de *c* au centre de la roue. Pour faciliter cette condition, ſelon que les roues ſont plus ou moins grandes, la boîte *A A* (*fig.* 1) peut ſe mouvoir ſelon la longueur du chaſſis. On voit que ſi le petit arc décrit par l'*H*, pour l'enfoncement des vuides de colonne, ne tendoit pas au centre de la roue, les colonnes ſe feroient à rochet; le bout de la fraiſe doit être formé plat & uni, afin de ne pas couper, il faut qu'il approche tout contre le fond *a k* (*fig.* 9) qui fait l'épaiſſeur du plan : pour approcher ou écarter le bout de la fraiſe du côté du plan; l'*H*, *B B* s'éleve ou s'abaiſſe perpendiculairement à la roue; pour cet effet la potence (*fig.* 4) porte la boîte *A* qui ſe meut ſur la branche *C*, au moyen de la vis de rappel *D D*; le tenon *E* dans lequel entre la vis de rappel ſert en même temps à recevoir le bout de la vis *E E* (*fig.* 1); c'eſt cette vis qui regle l'enfoncement du vuide des colonnes. Cela entendu, on concevra facilement le reſte de cette opération; & voici ce que l'on fera avant de commencer à former les vuides des colonnes : on fera mouvoir la vis de rappel *D D*, afin de faire paſſer le bout de la fraiſe au-deſſus du plan ſupérieur de la roue; en cet état, on fera mouvoir la vis *E E*, de maniere que le diametre de la fraiſe paſſe par l'extrémité de la circonférence 4, 5 (*fig.* 9) qui fait le ſommet des colonnes; on arrêtera la vis *E E* (*fig.* 1) par ſon contre-écrou *F F*: cela fait, on fera mouvoir le rappel de l'alidade, juſqu'à ce que le bord de la fraiſe paſſe par le derriere du ſommet du plan incliné *e b* (*fig.* 9); on voit ſi dans cette poſition la partie *d* qui doit reſter en *d* pour la colonne de *d e* eſt trop grande ou trop petite; on change de fraiſe ſelon qu'il en eſt beſoin; le tout ainſi préparé, il ne reſte plus qu'à faire couper la fraiſe; pour cet effet, il faut faire redeſcendre la fraiſe par la vis de rappel *D D* (*fig.* 1) & de ſorte que le bout de la fraiſe aille frotter contre le bord de la dent; on met un archet ſur le cuivrot de l'arbre *a b*, & on coupe juſqu'à ce que le bout de la vis *E E* poſe ſur le talon de la boîte qui porte l'*H*, c'eſt-à-dire, que le milieu de la fraiſe paſſe par la circonférence *e d* (*fig.* 9);

on ſautera quatre points, & on fera un ſecond intervalle; & ainſi de ſuite.

2331. Cela ainſi fait, la roue pourroit être regardée achevée par l'outil; mais dans ce cas, les colonnes *d*, *f*, &c, reſtèroient quarrées, & l'uſage eſt de les arrondir, comme on le voit en *g*, *h* & *i*, & cela eſt ſur-tout néceſſaire pour écarter cette colonne du plan incliné, & l'empêcher d'y toucher; & c'eſt pour concourir à ce but qu'eſt fait l'enfoncement *b* (*fig.* 12): pour donc arrondir les colonnes, il a fallu trouver un moyen de le faire ſur l'outil, afin de rendre l'opération plus ſûre & plus abrégée; & voici comment on y eſt parvenu: c'eſt encore au moyen de l'arbre en l'air, & d'une fraiſe cylindrique fort douce; mais au lieu que cet arbre eſt emporté par l'*H* pour décrire la portion de cercle requiſe pour l'enfoncement du vuide des colonnes, il a un mouvement particulier par lequel il peut décrire autour de la colonne un arc d'un très-petit cercle, & cela eſt produit par une couliſſe qui porte cet arbre; cette couliſſe eſt attachée ſur l'arbre *f* (*fig.* 1) qui ſe meut ſur les bras *g* & *h* de l'*H*; cet arbre porte une vis de rappel *k* qui fait mouvoir le lardon *k l* qui porte un point conique ſur lequel ſe meut le bout du petit arbre *a b*; ce lardon *k l* porte la branche fixe *m* ſur laquelle entre la boîte *n x*: cette boîte eſt percée en *x* d'un trou conique, dans lequel entre le bout de l'arbre; ainſi cet arbre ſe meut dans la cage formée par le lardon & ſa boîte, d'où l'on voit qu'en faiſant écarter ou approcher le point conique du lardon du centre de l'arbre *f*, ſi l'on fait mouvoir cet arbre *f*, le petit arbre *a b* décrira un cercle plus ou moins grand; c'eſt donc du chemin que l'on fait faire au lardon *k l* que dépend l'excentricité de l'arbre *a b*; ſi donc en même temps que l'on fait tourner le petit arbre avec un archet, on fait décrire à celui *f* une portion de cercle, & que la fraiſe appuie ſur l'extrémité de la colonne, on voit que celle-ci s'arrondira & plus ou moins, ainſi qu'on le voudra. Pour faire décrire à l'arbre *f* la portion de cercle requiſe pour tourner autour du ſommet de la colonne, on ſe ſert de la vis *G G* attachée au pivot de cet arbre *f*

qui entre dans le bras *h* de l'*H*; & pour régler le chemin ou portion de cercle décrite par cet arbre, sa tige porte entre les bras *g*,*h* un canon sur lequel est rivée une oreille *o*;sur celle-ci s'ajuste une seconde oreille *p* qui s'arrête sur la premiere avec la vis de pression *q*; ces oreilles vont battre contre la partie *r* de l'*H*; ainsi plus l'angle compris entre ces deux oreilles est grand, & plus aussi la portion de cercle décrite par l'arbre *f* est grande *.

2332. Le canon qui porte l'oreille *p* peut tourner séparément de l'arbre *f*; on les fixe l'un avec l'autre par la vis de pression *s*; on se sert de ce mouvement pour régler l'arrondissement de la colonne, c'est-à-dire, pour amener l'arbre, ou porte-fraise, de sorte que lorsqu'elle est à l'extrémité de la colonne, la portion de cercle qu'elle décrit de côté & d'autre ne coupe pas plus un angle de cette colonne, qu'elle ne fait l'autre.

2333. Quand les colonnes sont ainsi arrondies, on peut les polir, se servant pour cela d'une fraise cylindrique non taillée : on peut en faire autant pour les vuides des colonnes.

2334. Pendant toutes les opérations que nous venons d'indiquer, les fonds *a* des dents sont restés tels qu'on les voit en *a* (*fig.* 9), afin de tenir la roue solide; & lorsque les colonnes sont arrondies, on acheve de couper les séparations *k l*. Pour cet effet, on ôte la roue de dessus l'outil, & on prend une scie mince, appuyant le dessous sur un bois pour ne rien courber, & les dents restent, comme on le voit, en *g*, *h*; enfin le bout de la dent *h* restant trop large, on limera en dedans la dent *i m*, de sorte que le bout *m* devienne, comme on le voit dans la figure; on arrondira ensuite légerement le bout *m* du plan incliné; il restera enfin à adoucir les plans inclinés, & à ôter les bavures que l'outil a faites; on achevera les croisées, & la roue sera prête à enarbrer.

* Lorsque l'on fait les vuides des colonnes, on ferme entiérement ces oreilles, de maniere qu'elles embrassent juste l'épaisseur de l'*H*; par ce moyen le petit arbre ne peut tourner que sur lui-même, & sans être emporté par le mouvement excentrique, lequel n'a plus lieu pendant que les oreilles sont ainsi fermées.

2335. Les figures 7 & 13 font voir le développement de l'*H*, *B B* qui sert à tailler les roues de cylindre. *A B* est le corps de l'*H*; *a b*, les bras qui reçoivent les vis *d e* (*fig.* 1), & qui s'assemblent, comme j'ai dit, sur la boîte *A* (*fig.* 4); *g*, *h*, (*fig.* 7) sont les bras sur lesquels se meut l'arbre *C D*; cet arbre *C* est d'acier; sa tige entre dans les trous des bras *g*, *h*; celui *g* est conique en *i* pour recevoir la partie conique *k* de l'arbre; l'arbre entre par *i*, & le bout *l* roule dans le trou *h*. Pour retenir cet arbre sur l'*H*, en ne lui permettant que de tourner sur lui-même, on fait entrer sur le bout saillant *m* le bouton conique *n*; celui-ci porte une cheville qui entre dans une fente faite au bout de *m*; ainsi l'arbre & le bouton ne peuvent pas tourner séparément l'un de l'autre; le bout *m* est percé d'un trou taraudé, dans lequel entre la vis *o*; on serre plus ou moins cette vis, & de sorte que l'arbre *C* n'ait point de jeu sur sa longueur; la partie conique *n* entre sur le bout du trou *h*, aussi rendu conique.

2336. L'arbre *C* est formé d'une seule piece avec la base *D E*; c'est sur cette base ou roue tournée parfaitement droite & ronde que s'ajuste la coulisse ou lardon qui porte l'arbre à fraise *F G*; le lardon *H K I* est d'acier trempé, & d'une seule piece; sa base *K* s'applique contre celle *L* de l'arbre; le lardon est recouvert par la piece de cuivre *M* (*fig.* 13); celle-ci est entaillée dans sa longueur, pour y faire entrer très-juste le lardon *H K*; la piece *M* se fixe sur la base *L* au moyen de deux vis & de deux tenons 1, 2 fixés à la base *L*; par ce moyen le lardon est rendu très-fixe sur la base *L*, & il ne peut se mouvoir que selon la rainure faite à la piece *M*: on se sert pour cela de la vis de rappel *N* dont la tête *p* entre dans l'entaille *q* du lardon.

2337. Sur la branche *I* du lardon, entre très-juste la boîte *O P*, & on la rend fixe sur cette branche avec la vis *r*; le trou *P* de la boîte est conique, ainsi que le bout *G* de l'arbre *F G* qui doit y rouler; la pointe *s* de l'arbre *F G* doit rouler dans un point conique fait au lardon. Pour marquer ce point, il faut avoir attention de le placer dans le diametre de la base

L,

L, afin qu'en faiſant mouvoir la vis de rappel, ce point puiſſe devenir parfaitement concentrique à l'arbre.

2338. L'arbre ou porte-fraiſe *F G* eſt d'acier trempé; il doit être percé dans toute ſa longueur, comme on a fait l'arbre de la plate-forme; la pointe *s* doit être rapportée: par cette diſpoſition, les petites fraiſes *Q* pourront être tournées ſéparément, & miſes dans l'arbre, elles tourneront rond; ces fraiſes ſont rendues fixes ſur l'arbre *F G* au moyen de la vis *t*.

2339. La piece *A B C* (*fig.* 13) repréſente les deux oreilles qui s'ajuſtent en *C* ſur l'arbre *C D* (*fig.* 7); *A* (*fig.* 13) eſt le canon ſur lequel eſt rivée l'oreille *B*; *C* eſt l'autre oreille appliquée contre la premiere; elle peut tourner ſéparément, ce que permet l'ouverture dans laquelle paſſe la vis *D* qui ſert à les fixer enſemble; la vis *R* ſert à fixer le canon ſur l'arbre *C*.

2340. La potence *B C* (*fig.* 4) ſe fixe ſur le chaſſis de la plate-forme au moyen des vis *L L*, *M M* (*fig*, 1) & du lardon *N N*, vu (*fig.* 14); ce lardon porte une vis de preſſion *O O* (*fig.* 1); la partie *A A* de la potence eſt faite en fourchette, ce qui permet de l'ôter facilement de deſſus le chaſſis; il ne faut que retirer les vis *L L*, *M M*, & on ôte la potence, ainſi que les pieces qu'elles portent, leſquelles ne ſervent que pour former le vuide des colonnes, & pour les arrondir.

De l'Outil à tailler les fraiſes pour exécuter les Roues de cylindre.

2341. Les fraiſes dont on ſe ſert pour former les vuides des colonnes de roues de cylindre ſont cannelées ſelon leur longueur, ou plutôt elles forment des eſpeces de cylindres taillés en rochet: pour tailler ces fraiſes, on a imaginé l'outil repréſenté planche XXXVIII, fig. 32. La piece de cuivre *A B C* qui s'attache à l'étau par la patte *A*, porte en *B* une eſpece d'*H*, *D*; & celle-ci une ſeconde *I F G* dont les bras *F*, *G* portent un arbre en l'air *H*, ſur lequel s'ajuſte une fraiſe à rochet *a* qui ſert à canneler les fraiſes cylindriques pour les roues de cylindre. La vis *I* qui regle l'enfoncement des dents de la fraiſe, poſe ſur le plan *K* parallele à l'axe de la fraiſe *L*;

ainſi le double mouvement des deux *H* permet de promener le porte-fraiſe *EF* ſelon la longueur de la fraiſe *L*; pendant ce mouvement on fait couper celle *a* au moyen d'un archet dont la corde paſſe ſur le cuivrot *H* pour faire tourner le porte-fraiſe : la roue dentée *M* entre à force ſur le bout de la fraiſe *L*, & celle-ci ſe meut ſur ſes pointes, l'une dans le pont *N*, & l'autre ſur la broche *O*; cette roue ſert à rendre les dents de la fraiſe égales entr'elles, & on les fait auſſi fines que l'on veut, ce qui dépend du nombre que l'on emploie ; le reſſort *P* fait l'office d'alidade.

De l'exécution de l'échappement à Cylindre.

2342. La deſcription que nous venons de donner de la machine à fendre les roues de montre nous a entraînés à parler de la maniere dont on taille les roues de cylindre, ce qui forme une partie eſſentielle de l'exécution de cet échappement; mais comme il y a différents ſoins qui regardent cette roue, & dont nous n'avons pas parlé, nous allons la reprendre dès ſon origine.

2343. Pour faire une roue de cylindre, on ſe ſert de cuivre de chaudiere le plus pur que l'on peut trouver; il eſt préférable pour nos montres parce qu'il eſt plus ductile que le laiton ordinaire ; il eſt moins poreux, plus pur, cauſe moins de frottement, ſe ronge difficilement ; il faut prendre ce cuivre fort épais afin de pouvoir le rendre bien dur en l'écrouiſſant ; il faut l'amener au marteau à l'épaiſſeur que doit avoir la roue. La grandeur de la roue eſt déterminée par la poſition des roues du calibre, c'eſt-à-dire, par la diſtance du centre de la roue de cylindre au centre du balancier : il faut que la roue ſoit plus grande que cet intervalle, parce que, comme je l'ai dit (412), la poſition du cylindre doit être dans le milieu de la hauteur du plan incliné : quant à l'épaiſſeur de la roue, elle dépend de la force qu'elle doit avoir à ſa circonférence, puiſque, comme je l'ai dit (2292), l'épaiſſeur des dents doit être proportionnelle à cette force; par exemple, dans une roue à 30 heures, dont la force motrice eſt

de 6 gros, ou la force à la circonférence de la roue de 9 grains, l'épaiſſeur de la dent doit être d'environ $\frac{3}{12}$ de ligne; l'épaiſſeur du fond de la roue & la hauteur des colonnes doivent être relatives à l'épaiſſeur des dents : on peut au reſte avoir des dents épaiſſes & des colonnes peu élevées, lorſque la place de la montre ne le permet pas : il ſuffit que ces colonnes ſoient aſſez élevées pour écarter la dent du fond de la roue, de maniere que la levre *a* du cylindre (*Planche XV*, *fig.* 1) ne puiſſe y toucher, & que cependant la traînée de l'épaiſſeur de la dent ſe faſſe en plein ſur la levre ; cela entendu, on tournera la roue ſelon ces dimenſions, & ſelon la figure indiquée (*Planche XXXVI*, *fig.* 12) ; il faut obſerver que la largeur *d e* n'eſt pas arbitraire, elle dépend de la longueur que les plans inclinés auront, parce qu'il faut que cette partie ſe loge dans le cylindre ſans y toucher : il ne faut pas la faire trop étroite, car il en réſulteroit deux défauts ; le premier, c'eſt que la premiere fente que l'on fait en taillant la roue, couperoit entiérement ce bord, & lui ôteroit le ſoutien des dents pendant qu'on les forme ; le ſecond, c'eſt que les colonnes ſeroient trop minces : il vaudroit donc encore mieux pécher par trop de largeur de bord, que par trop peu; on en ſeroit quitte pour ôter du dedans de ces colonnes, quand l'échappement eſt fait; mais pour peu que l'on acquiere de pratique, on évitera ces deux défauts.

2344. La roue ainſi tournée, on la fendra ſelon les méthodes que nous avons indiquées ci-devant : on l'adoucira, & elle ſera prête à être enarbrée.

2345. Dans une montre ſimple à cylindre, dont la cage eſt haute, l'élevation de la roue de cylindre dans la cage n'eſt point arbitraire ; car cette élévation doit être relative à la force que cette roue a à ſa circonférence, au poids du balancier & à la poſition du balancier ſur la longueur de ſon axe, & cela afin de répartir également la preſſion ſur chaque pivot : ſi par exemple, le balancier peſe 12 grains, & qu'il ſoit placé au quart de la longueur de l'axe, & que la force à la circonférence de la roue ſoit de 6 grains; alors pour que les preſſions ſur chaque pivot

foient égales, il faut que la roue agiffe à l'autre bout de l'axe un peu moins que le quart de la longueur de l'axe, & ainfi des autres.

2346. On enarbrera la roue fur fon pignon en lui donnant la hauteur convenable, & ayant attention que les points des plans inclinés foient dirigés felon le côté où tourne la roue; on rivera la roue, & fi on a bien opéré, elle doit fe trouver parfaitement ronde; mais on ne fera pas mal, quoiqu'il en foit, de frifer l'extrémité des plans inclinés.

2347. La roue étant enarbrée, on fera le cylindre. Pour cet effet, on prendra d'excellent acier quarré d'Angleterre; car je ne penfe pas que l'acier tiré foit bon; je crois qu'il doit fe corrompre en paffant à la filiere; l'acier doit être affez gros pour qu'étant tourné il entre jufte dans l'intervalle *n o* (*fig. 9*); on fe réglera pour la longueur du cylindre, fur la hauteur qu'il y a depuis le talon de potence jufqu'au deffus de la petite platine: on coupera un bout d'acier, & on le percera avec un foret qui foit un peu plus petit que la dent *p n*; on aggrandira ce bout d'acier pour le cylindre avec un équarriffoir bien fait, peu en pointe, & faifant entrer l'équarriffoir par chaque bout du cylindre, on aggrandira ainfi le trou du cylindre jufqu'à ce qu'une dent de la roue y entre librement, mais avec peu de jeu; cela fait, on le fera entrer fur un arbre liffe, bien rond, & on tournera le dehors cylindrique, & jufqu'à ce qu'il entre librement dans l'intervalle *n o* de la roue.

2348. Quand le cylindre eft ainfi tourné, il faut en faire l'entaille: voici par quel moyen on doit en régler l'ouverture. On laiffera le cylindre fur l'arbre liffe, & en cet état on l'ajuftera fur le tour décrit (497 *& fuiv.*), (ce tour eft vu Pl. XIX, fig. 6): on arrêtera la pointe de l'arbre liffe avec la pincette *a b*, ayant attention que la pointe de l'arbre pofe au centre de la plate-forme *B*; on approchera le fupport *V* tout contre le cylindre; on fera pofer la pointe de l'alidade fur le nombre 360, & avec une lime tranchante, on fera un trait fur la longueur du cylindre; on fera faire un demi-tour à la plate-

forme, & on marquera un trait leger pour désigner le diametre du cylindre; de ce point, on avancera la plate-forme d'autant de degrés, comme on veut en donner de levée: si l'on veut que chaque dent leve 20 degrés, on fera avancer le diviseur de 20 degrés, & on tracera un trait selon la longueur du cylindre; l'intervalle qu'il y a depuis ce trait, jusqu'au premier que l'on a fait, marque la quantité d'ouverture que l'on doit donner au cylindre, pour que la roue étant placée selon les regles prescrites (412), la levée par chaque levre soit exactement de 20 degrés; or cet intervalle est de 160 degrés; c'est-là l'ouverture du cylindre: cette ouverture ainsi marquée, on ôtera le cylindre de dessus l'arbre, & on le mettra sur une broche de cuivre; on fera l'entaille bien exactement, selon la profondeur marquée par les traits de division, & on fera la longueur de cette entaille propre à y loger fort à l'aise l'épaisseur de la roue, & à l'endroit convenable dans la longueur du cylindre, c'est-à-dire, que le bout supérieur affleure avec le dessus de la petite platine: on arrondira la tranche par où la dent entre dans le cylindre, comme on le voit en *f* (*Pl.* 15, *fig.* 2), & on fera l'autre levre *d* inclinée, comme on le voit dans la figure; cela fait, on fera une seconde entaille *e* (*Pl. XV. fig.* 4) à la levre qui porte le plan incliné; cette seconde entaille est nécessaire pour donner lieu à des vibrations étendues; car sans cela cette levre viendroit battre contre la partie *e* de la colonne (*Pl. XV*, *fig.* 1); on enfoncera cette entaille de la moitié environ de l'épaisseur qui restoit à la premiere, c'est-à-dire, qu'il reste environ un quart de la circonférence du cylindre.

2349. Le cylindre ainsi préparé, sera prêt à tremper: ce que l'on fera; on le blanchira ensuite avec de la ponce, afin de voir comment on fait revenir les deux bouts: pour empêcher l'endroit où la roue doit agir de s'amollir, on prendra cette partie avec une pince, on donnera un coup de chalumeau sur chaque bout, afin de le faire revenir bleu.

2350. Pour polir le cylindre, on commencera par l'intérieur, ce que l'on fait de la maniere suivante: on prend une

broche d'acier cylindrique qui entre juſte & librement dans le trou : on prend de la pierre à huile broyée, & on promene cette broche ſelon ſa longueur dans le cylindre, & juſqu'à ce que le trou ſoit parfaitement uni ; après avoir dreſſé le dedans, on le polira avec la même broche & de la potée d'étain. Pour polir le côté extérieur, on mettra le cylindre ſur un arbre liſſe; & avec une lime d'acier, & de la pierre à huile, on l'adoucira ſur le tour, on le polira, employant de la potée d'étain.

2351. Pour polir les levres du cylindre on emmanchera le cylindre ſur une broche de cuivre qui n'entre que ſur le bout ; on ſe ſervira de petites limes non taillées, & de la pierre à l'huile ; on aura attention à ne pas changer la figure qu'on leur a donnée ; avec la lime on les polira, employant de la potée d'étain.

2352. Le cylindre ainſi préparé ſera prêt à être enarbré : pour cet effet, on fera les tampons tels qu'ils ſont vus (*Pl. XXV*, *fig.* 5 & 6) ; ces tampons ſont formés de chacun deux pieces ; *f n* (*fig.* 5) eſt de cuivre percé d'un trou, dans lequel on a chaſſé à force la tige d'acier *h*, ſur laquelle on doit faire le pivot ; ce tampon (*fig.* 5) eſt celui qui doit ſe fixer au bout ſupérieur du cylindre, & ſur lequel le balancier doit être rivé; le tampon (*fig.* 6) eſt fait de la même maniere, à cela près qu'il n'a pas beſoin d'aſſiette : quand on a tourné ces tampons de groſſeur propre à entrer bien juſte dans le cylindre, on coupe les bouts de ſorte qu'ils ne puiſſent pas faillir l'entaille du cylindre ; cela fait, on les chaſſe à petits coups de marteau, juſqu'à ce que ces tampons s'arrêtent par leurs portées ſur les bouts du cylindre ; quand cela eſt fait, on place le cylindre ſur le tour, & l'on voit s'il tourne rond; ſi cela n'eſt pas, on jette les pointes de côté juſqu'à ce qu'il tourne rond; on coupe ces pointes ſelon les méthodes indiquées (891); on tourne bien rond les bouts des tigerons, & on prépare l'aſſiette pour y river le balancier; on recule cette aſſiette convenablement, on rive le balancier, on leve les pivots, & enfin on met le balancier en cage.

2353. Le balancier ainſi enarbré & mis en cage, il reſtera pour achever l'échappement, à trouver la juſte poſi-

tion de la roue, relativement à sa grandeur & inclinaison de ses plans, & à l'ouverture du cylindre; or l'ouverture du cylindre est donnée pour produire 20 degrés de levée de chaque côté, & les plans sont aussi inclinés de maniere à produire la même levée de 20 degrés : donc si l'échappement ne leve pas 20 degrés, il faudra éloigner ou approcher la roue du cylindre : pour juger si la levée est telle, on fera sur le bord du coq deux petits traits éloignés chacun de 20 degrés du milieu de l'intervalle entre les deux pieds du coq; on fera aussi un petit trait à ce point milieu; cela ainsi fait, on mettra la roue en place; on gênera le balancier en mettant du papier entre lui & le coq; on fera tourner le balancier jusqu'à ce qu'une pointe des dents commence à être en prise sur une des levres pour opérer la levée; dans cet endroit, on fera vis-à-vis le point milieu du coq une petite marque sur le bord du balancier; on pressera la roue afin qu'elle opere sa levée; si l'échappement est bien fait, le petit trait du balancier doit parvenir jusqu'au trait marqué au coq pour la levée; si la levée est moindre, c'est une marque que la roue n'est pas assez proche du cylindre; & au contraire si la levée se fait de 20 degrés justes, il y a lieu de croire que l'échappement est bien; mais pour s'en assurer tout-à-fait, il faut ramener le balancier à son repaire; si en cet état une dent de la roue se trouve prête à opérer la levée sur l'autre levre, c'est une marque que l'ouverture du cylindre a été bien faite, & que la roue est dans la position qui lui convient; on en fera donc les pivots, & on la mettra en cage : voilà en gros la pratique de cet échappement.

Remarque sur la Cheville de renversement du Balancier d'une Montre à secondes, à vibrations lentes.

2354. Dans les montres ordinaires, une cheville placée au balancier suffit pour faire le renversement; il n'en est pas de même pour celles à vibrations lentes qui ont des balanciers pesants; car alors à cause de la grande inertie du balancier, si l'on agite un peu fortement la montre, la cheville de ren-

verſement frappera avec force contre la cheville d'arrêt, enſorte que la réaction agira ſur le pivot, & le caſſera ; pour éviter un tel obſtacle, on place diamétralement deux chevilles de renverſement qui frappent en même temps ſur deux chevilles attachées au coq ; ainſi elles reçoivent toute la force du balancier : une de ces chevilles de renverſement ſe place au bord ſupérieur du balancier, & l'autre au bord inférieur : les chevilles fixées au coq ſont élevées ; l'une pour recevoir l'effort de la cheville ſupérieure ſans empêcher le paſſage de la cheville inférieure, & le tenon qui arrête la cheville inférieure n'empêche pas non plus le paſſage de la cheville ſupérieure de renverſement : par ce moyen le balancier décrit près de 360 degrés.

De l'Outil à égaliſer les Roues de rencontre.

2355. Enfin pour achever ce qui concerne les inſtruments qui ſervent à rendre l'exécution des pieces d'horlogerie plus exacte & plus facile, nous parlerons ici d'un outil à égaliſer les dents de roues de rencontre : cet outil eſt repréſenté (*Pl. XXXVIII, fig.* 23) ; il eſt très-eſſentiel à la perfection des roues de rencontre que l'on peut rendre auſſi juſtes que l'on veut par ſon moyen : il a été imaginé par M. Crevoiſier faiſeur d'outils à Paris.

2356. La roue de rencontre *A* (*fig.* 23) ſe place entre la pointe *B* & le pont coudé *C* de l'outil, & roule ſur les portées de ſes pivots, dans les trous coniques faits à ces pointes ; *D E* eſt un arbre dont la partie *D* eſt taillée en fraiſe comme celles à roue de rencontre : on fait mouvoir cet arbre au moyen d'un archet & du cuivrot *H* qu'il porte ; il porte deux points coniques qui roulent dans les trous des vis *F*, *G* portées par les bras *H*, *E* de l'*H* ; le levier *I k L* eſt mobile en *k* ſur une vis à portée ; le bout *L* de ce levier appuie ſur le bout de la vis *M N*, y étant forcé par l'action du reſſort *o p* ; ainſi à meſure qu'on tourne la vis d'un ou d'autre côté, on fait approcher le bout *I* du levier de la fraiſe ; le levier ainſi que la

la fraiſe ſont portés par l'*H* ou piece *P Q* qui ſe meut ſur le bout des vis 1, 2 ; ainſi on fait approcher la fraiſe plus ou moins de la roue par le mouvement connu de l'*H* ; on en regle à l'ordinaire l'enfoncement par la vis *R*. Cela entendu, voici le principe de cette machine : en appuyant ſur l'*H* ; la fraiſe & le bout *I* du levier viennent s'engager dans les dents de la roue ; on ſe ſert du levier & de la fraiſe, comme d'un échantillon dont le devant de la fraiſe ſert à couper la quantité dont les petites dents d'une roue ſont trop rapprochées, afin de les réduire toutes à la même meſure ; or cela ne ſe fait que par le tâtonnement, comme on le verra par l'uſage de la machine.

2357. La piece *S* ſur laquelle poſent les pointes 1, 2 de l'*H* eſt mobile ſur celle *T*, après laquelle elle eſt retenue par l'écrou *V* qui entre à vis ſur une broche portée par la piece *S* ; ainſi on donne à celle-ci l'inclinaiſon que l'on veut ; la piece *T* eſt formée ſur une boîte qui ſe meut ſur la barre prolongée *E*, après laquelle elle eſt arrêtée par une vis ; on peut avancer & reculer cette boîte ſelon la grandeur des roues de rencontre ; la piece *X* eſt coudée pour recevoir le bout de la vis *R* ; cette piece tient à la noix graduée *S* ; la partie *Y* de la barre ſert à attacher l'outil à l'étau ; 3, 4, 5, 6 ſont des écrous qui ſervent à arrêter les vis 1, 2, *F*, *G* ; la broche *B* eſt rendue fixe par la vis ou écrou 7 ; les vis 8, 9 fixent la potence *C* que l'on éleve ou baiſſe à volonté, à cauſe des ouvertures dans leſquelles paſſent les vis.

2358. Pour faire uſage de cet outil, on place la roue de rencontre entre la broche *B* & le pont *C* ; alors on préſente l'*H*, on fait mouvoir la vis de rappel juſqu'à ce que la dent appuyant contre le levier *I*, le devant de la fraiſe ſoit prêt à toucher à la dent prochaine ; on eſſaie toutes les dents les unes après les autres, afin de reconnoître la plus grande dent & la plus petite ; on n'écarte pas d'abord l'outil ſelon la grande dent ; car ſi on ſe régloit ſur elle pour limer les plus petites, lorſqu'on auroit fait le tour de la roue, il y auroit une dent beaucoup plus petite que toutes les autres ; mais on ſe régle ſur les petites qu'on diminue, de ſorte que ce qu'on en ôte

pour en augmenter la diſtance, diminue d'autant les plus grandes à chaque révolution; lorſque la révolution eſt achevée, on tourne tant ſoit peu la vis de rappel *N* pour écarter le levier *I* de la fraiſe (la tête de cette vis eſt graduée afin de connoître le chemin que l'on fait faire au levier); l'on va ainſi de proche en proche, & très-inſenſiblement juſqu'à ce que la fraiſe touche également à toutes les dents. Pendant qu'avec une main on fait rouler l'arbre de la fraiſe avec un archet, de l'autre on preſſe la roue pour la faire appuyer contre la fraiſe; lorſque la dent poſe ſur le levier, alors la fraiſe ceſſe de couper.

2359. Lorſque le devant des dents eſt parfaitement égaliſé, il faut mettre la roue ſur le tour, & friſer les pointes des dents, de ſorte que le burin atteigne la plus courte; on ôte enſuite légérement les traits de la fraiſe avec une lime, & on préſente de nouveau la roue ſur l'outil pour voir ſi en limant le devant des dents, on n'a pas changé leur juſteſſe: s'il eſt beſoin, on y touchera par la méthode indiquée.

2360. Cela fait, il reſte à terminer le derriere des dents, afin de les rendre également en pointes. Pour cet effet, on ſe ſervira du côté courbe de la fraiſe; on mettra donc la roue ſur l'outil, on fera appuyer le devant de la dent contre le levier *I*, on écartera ce levier de la fraiſe juſqu'à ce que la fraiſe paſſe dans le vuide de la dent prochaine, & que le dos de la fraiſe ſoit prêt à couper le derriere de la dent, on élevera pour cela ou baiſſera l'*H* au moyen de la vis *R*; pour cet effet on ſe réglera ſur la dent la plus pointue, & de ſorte que la fraiſe ne faſſe que l'effleurer; alors on ſerrera le contre-écrou *Z*, on avancera la roue d'une dent, & avec l'archet on fera couper à la fraiſe la quantité dont cette dent eſt plus épaiſſe que la premiere: on fera la même opération à toutes les dents, & juſqu'à ce qu'elles ſoient toutes également aigues: il ne reſtera, pour achever cette roue, qu'à paſſer une lime à arrondir, très-douce, pour arrondir la pointe de la dent.

CHAPITRE XLVII.

De la construction & de l'exécution d'une Montre dans laquelle on réunit tout ce qui peut contribuer à sa justesse.

2361. APRÈS avoir fait tous mes efforts pour parvenir à découvrir des principes sur la justesse des Montres, & établir une théorie qui serve de base à la construction de ces machines, je crois m'être mis en état de donner à une montre quelconque la disposition la plus avantageuse, pour que cette machine mesure le temps avec toute la justesse dont elle est susceptible: il me reste donc maintenant à traiter de la construction & de l'exécution d'une bonne montre, & des détails les plus essentiels qui peuvent concourir à ce but : c'est le travail qui me reste à faire pour terminer cet ouvrage.

2362. Je me propose la construction d'une montre simple à roue de rencontre, & dont le mouvement soit grand, par les raisons suivantes.

2363. Nous choisissons une montre à roue de rencontre, parce que, 1°, nous la croyons plus propre à mesurer le temps avec précision (*voy.* 559 & 1902); nous observerons encore ici que l'échappement à roue de rencontre a un avantage essentiel; c'est qu'il produit un très-grand mouvement au balancier, avec un très-petit espace parcouru dans l'échappement, d'où suit le peu de frottement qu'il a ; aussi ne voit-on pas qu'après plusieurs années de marche, les palettes soient marquées: le frottement est donc constamment le même, à moins que par accident l'huile ne se communique aux palettes, alors elles se creusent, & la montre varie ; mais ce défaut est facile à éviter.

2364. 2°, Parce que ces ſortes de montres peuvent être exécutées & réparées par des Ouvriers ordinaires.

2365. 3°, Parce qu'une telle montre durera beaucoup plus de temps ſans être réparée ; car l'échappement a le moins de frottement qu'il eſt poſſible; & quant aux autres frottements, nous les rendrons par notre conſtruction auſſi conſtants qu'il eſt poſſible.

2366. 4°, Nous préférons une grande montre, 1°, pour avoir, ſelon nos principes, une plus grande quantité de mouvement (1834 & 1866); 2°, parce qu'il eſt beaucoup plus facile de donner à chaque partie la perfection requiſe, non-ſeulement pour l'exécution, mais encore pour la diſtribution des pieces ; car telle conſtruction peut ſe faire en grand, qui deviendra très-difficile à pratiquer en petit ; & comme notre objet actuel ne porte que ſur l'extrême perfection, & que les difficultés que l'on ſe forge en faiſant de petites montres, ne tendent point à donner plus de juſteſſe, & ſont dès-là en pure perte, je les regarde comme défectueuſes en qualité de montre ; ce ne ſont plus que des bijoux : j'avoue cependant que ce ſont ces colifichets qui font la fortune de beaucoup d'Horlogers, & que moi-même j'en vends, mais après avoir dit ce que j'en penſe. Au reſte, ces petites montres, quand elles ſont parfaitement bien faites, vont juſte pourvu qu'elles ne ſoient pas nettoyées par de mauvais Ouvriers, & qu'il ne leur arrive pas d'accident.

Obſervations préliminaires pour ſervir à la conſtruction de la Montre, & pour tracer le Plan ou Calibre *de cette Machine.*

2367. Le calibre d'une montre eſt une plaque de cuivre de la grandeur que l'on donne à la platine des piliers ; on projette ſur ce calibre toutes les parties de la montre, roues, balanciers, deſſus de platine, &c : en un mot le calibre renferme toutes les dimenſions de la machine. Il n'y a rien de ſi commun que la fabrication des calibres ; il n'y a pas juſqu'au moindre Ouvrier qui ne ſe donne les airs d'en tracer, & il n'y

a cependant rien de plus difficile & de plus essentiel; car pour le faire avec intelligence, il faut avoir dans la tête tous les principes dont nous avons traité ci-devant, & il faut joindre à ces principes l'expérience, & ce n'est que du moment actuel que je commence à être capable de donner une bonne disposition à une montre. Je ne propose donc encore qu'un essai; je ne prétends pas que mes regles soient toujours exactes; je m'en propose seulement la recherche : nous allons parler de quelques remarques préliminaires qui doivent servir de base; & quant à l'application, nous nous réglerons d'après l'expérience.

2368. La constante justesse d'une montre est fondée sur deux choses principales; la premiere, c'est dans l'harmonie ou rapport entre le régulateur & le moteur, rapport que nous avons établi ci-devant pour la compensation des effets du chaud & du froid; la seconde, sur la constante uniformité des frottements : nous avons traité ci-devant le premier objet; mais il est à propos de rechercher les moyens de rendre les frottements constants.

2369. Par rapport aux frottements, on ne doit pas perdre de vue les principes suivants; 1°, *que ce n'est pas à la quantité absolue des frottements qu'il faut avoir égard, mais à leur constante uniformité* (1875); 2°, *que les temps des oscillations d'un corps seront toujours les mêmes, si la résistance au mouvement est toujours la même, & que la puissance motrice agisse avec une force constante* (1822). *Consultez encore le principe du n°.* 1823.

2370. Or dans les montres, toute leur justesse est fondée sur la constance des frottements (1894); car la compensation même pour les différentes températures, est aussi bien fondée sur le frottement : c'est donc à rendre les frottements constants, que nous nous attacherons.

2371. Nous avons fait voir que pour diminuer, autant qu'il est possible, les inégalités produites par la force motrice, il falloit donner une grande quantité de mouvement au régulateur, & que le moteur étant puissant, les changements dans les huiles diminueroient une moindre partie du mouve-

ment : nous établirons d'après l'expérience, les limites de cette force de mouvement.

2372. Une autre considération qu'il ne faut pas perdre de vue pour les frottements, c'est d'augmenter les surfaces des parties frottantes en raison des pressions, & ne leur donner que la quantité convenable pour ne pouvoir être déchirées.

2373. Nous avons dit, (art. 941) que pour diviser également la pression sur chaque pivot, il faut que la force agisse dans le milieu des deux pivots : cette considération est très - essentielle pour diminuer le frottement & le rendre constant.

2374. Enfin pour rendre le frottement constant, il faut pratiquer de grands réservoirs aux pivots, afin que l'huile qu'on y met s'y conserve long-temps également fluide.

2375. Nous avons dit (565) que les montres à roue de rencontre doivent battre un plus grand nombre de vibrations que celles à cylindre, afin d'éviter les battements de la cheville de renversement du balancier contre la coulisse, défaut qui fait varier la montre par le *porté* : cette considération est particuliere aux montres à roue de rencontre ; mais nous devons observer qu'en général il est préferable de faire battre un plus grand nombre de vibrations, lorsque la quantité de mouvement doit être grande; car avec des vibrations lentes, il faut un balancier pesant, & dès-lors les pivots sont plus exposés à casser par la moindre chûte ; il faut encore observer que le frottement de l'échappement en devient plus nuisible ; car supposant la même quantité de mouvement dans les balanciers de deux montres, que l'un fasse cinq vibrations par seconde, & l'autre une, & que les roues aient même nombre de dents, épaisseur, diametre, &c ; alors la force à la circonférence de la roue, pour la montre à vibrations lentes, sera à la force de l'autre roue, comme 5 est à 1 ; donc la pression sur le cylindre sera cinq fois plus grande, & la destruction plus prompte ; il est vrai que dans la montre à vibrations promptes, il y aura cinq fois plus d'espace parcouru par l'é-

chappement ; mais si l'épaisseur de la roue est proportionnelle à la pression, le déchirement des parties n'aura pas lieu, ainsi que dans l'autre montre dont la roue a même épaisseur ; donc le frottement sera plus constant. Pour corriger ce défaut dans une montre à vibrations lentes qui a une grande quantité de mouvement, il faut augmenter l'épaisseur de la roue à proportion de la force qu'elle a à sa circonférence ; il faut alors supposer que la dent est assez exactement formée, pour qu'elle porte par tous ses points sur la piece d'échappement ; car si cela n'est pas, le frottement se fera de la même maniere que si la dent étoit mince ; or dans ce cas les vibrations promptes par une roue plus mince rendront cet effet moins équivoque.

2376. Voilà en gros les considérations qui doivent nous guider dans la construction de notre montre : il faut maintenant entrer dans les détails de pratique.

2377. Le balancier est la partie principale d'une montre, & ce sont ses dimensions qui déterminent toutes les parties de la machine ; car la force du ressort doit être relative à la quantité de mouvement du régulateur, & la grandeur des roues, les nombres des dents, &c, sont relatives à l'action du ressort ; mais pour construire sûrement ce régulateur, nous partirons d'après une montre faite selon mes principes, dont la justesse est très-grande, & les dimensions convenables. Dans cette montre, le balancier a 10 lignes de diametre ; il pese 7 grains ; les arcs de levées sont de 40 degrés ; il fait 17333 vibrations par heure. Pour entretenir le mouvement de ce régulateur, il faut un ressort dont la force fasse équilibre avec 6 gros appliqués à 4 pouces du centre de la fusée : voilà ce qui détermine la hauteur de la cage, & son diametre.

2378. Pour avoir un ressort capable de produire cette force, il faut que le barillet ait 2 lignes $\frac{1}{2}$ de hauteur, & plus de 8 lignes de diametre ; cela donne une platine des piliers, qui a de diametre 18 lignes $\frac{1}{2}$; la figure 1ere, Planche XXXVII, représente le dedans de cette platine sur laquelle le calibre est tracé.

2379. Le barillet *a c* est mis à côté de la fusée *d* ; par

ce moyen il a toute la hauteur de la cage, d'où il en résulte deux avantages ; le premier, c'est que le ressort en est meilleur (1988) ; le second, c'est que le barillet est moins exposé à vaciller sur son axe, & que l'on peut réserver au couvercle & au fond des têtines qui donnent des trous épais qui ne peuvent s'aggrandir, & on reserve en outre des creusures pour l'huile, & rendre le frottement constant.

2380. Il faut que la grande roue moyenne *f* soit noyée dans l'épaisseur de la platine des piliers, parce que, 1°, on conserve, comme je viens de le dire, le barillet de toute la hauteur de la cage ; 2°, la fusée a aussi toute la hauteur de la cage, ensorte que l'on peut employer une bonne chaîne Angloise.

2381. Il faut distribuer les roues de petite moyenne & de champ, de sorte que le talon de la potence puisse descendre à fleur de la platine, afin que la roue de rencontre soit aussi grande possible, & que cependant il reste un tigeron qui éloigne l'huile de la palette, qui éloigne aussi du pivot l'effort que la palette d'enbas reçoit de la roue. La position que j'ai donnée à ces roues dans le calibre satisfait à ces conditions ; elle a de plus l'avantage de rendre la montre facile à remonter, ce qui n'a pas lieu dans les montres ordinaires ; dans celle-ci la roue de petite moyenne passe entre la petite platine & la tige de rencontre.

2382. Je ne donne que la hauteur convenable à la cage pour le barillet & la roue de rencontre, & j'augmente la hauteur de la place sous le cadran ; par ce moyen j'ai des ponts fort élevés qui vont jusqu'au cadran ; ainsi la pression des roues se fait dans le milieu de la longueur entre les deux pivots, (*voyez fig.* 4, qui fait voir toutes les roues de la montre de profil, & arrangées sur la même ligne) ; cette figure présente d'une maniere facile à être saisie, les élévations de chaque partie de la montre.

2383. Pour faciliter l'exécution des roues, on les tient aussi grandes que la place le permet ; mais pour en déterminer exactement la grandeur, relativement à leur position, il faut avoir

avoir égard au nombre de dents que ces roues doivent avoir, & à ceux de leur pignon, afin que ces roues étant exécutées, & ainſi placées, les engrenages ſoient auſſi près d'être à leur vrai point, qu'il eſt poſſible ; ainſi toutes les roues ne doivent pas approcher également du centre des pignons, dans leſquels elles doivent engrener ; car cela varie ſelon que les pignons ſont plus ou moins nombrés, & qu'ils font un plus grand ou plus petit nombre de révolutions pour une de la roue qui les mene : par exemple, la roue de fuſée qui doit porter 54 dents, & engrener dans un pignon 12 (celui-ci fait donc 4 tours $\frac{1}{2}$ pour 1 de la roue), doit moins approcher du centre de ſon pignon que la roue de grande moyenne qui a 60 dents, & engrene pignon 6 (celui-ci fait 10 tours pour 1 de la roue), parce que ce pignon doit être beaucoup plus petit que celui de 12. Avant donc de tracer la vraie grandeur de ces roues, il faut trouver le nombre des dents des roues & pignons ; & l'on trace les roues en conſéquence, en eſtimant le point où l'engrenage doit ſe faire, ce que l'on juge par le rapport de la groſſeur du pignon au diametre de la roue ; mais pour fixer bien ces grandeurs, on ne peut le faire parfaitement que lorſqu'on a exécuté une piece d'après le calibre ; alors on retouche celui-ci en conſéquence : *c* (*fig.* 1) eſt le barillet ; *d* la fuſée ; *f* la grande roue moyenne ; *g* la petite moyenne ; *h* la roue de champ.

2384. Pour régler le nombre de vibrations dans une montre à roue de rencontre, il faut conſidérer, ainſi que nous l'avons déjà dit (565), qu'il ne faut pas que le balancier faſſe des vibrations lentes à cauſe des battements auxquels il ſeroit ſujet au porté : je fais battre au balancier de cette montre 15600, lorſque la montre eſt ſans ſecondes ; & comme ce calibre eſt diſpoſé pour que l'on puiſſe faire la montre à ſecondes excentrique, l'aiguille portée par la roue de champ, alors je fais battre 14400 : voici les nombres des dents des roues & pignons dans l'une & l'autre montre.

Montre ordinaire.

2385. Roue de fusée 54, engrene dans le pignon de 12 qui porte la grande roue moyenne : celle-ci a 60 dents ; elle engrene dans le pignon 6 qui porte la petite roue moyenne : la petite roue moyenne a 48 ; elle engrene dans le pignon 6 qui porte la roue de champ : celle-ci porte 45 dents, elle engrene dans le pignon de la roue de rencontre qui a 13 dents (*).

Montre à secondes.

2386. Roue de fusée 54, engrene pignon 12 ; grande roue moyenne 60, engrene pignon 8 ; petite moyenne 48, engrene pignon 6 ; de champ 48 engrene pignon 6 ; roue de rencontre 15.

2387. Les roues ainsi tracées, on marquera la grandeur de la petite platine que l'on fera concentrique à la grande platine ; mais qu'il faut tenir plus petite par la raison que la charniere étant attachée à la platine des piliers, lorsque l'on ouvre la montre, l'extrémité de la cage opposée à la charniere décrit une portion de cercle dont la charniere est le centre ; or comme la petite platine doit passer dans l'ouverture de la boîte, il faut qu'elle soit plus petite que la grande, à raison de l'élévation des piliers ; c'est ce que l'on appelle l'*Embichetage*.

2388. Quand on a tracé sur le calibre la place des roues contenues dans la cage, alors on trace sur le même côté du calibre *le dessus de platine*, c'est-à-dire, toutes les pieces posées sur la petite platine, comme le coq, la coulisserie, la rosette, &c.

(*) Il est préférable de ne donner que 13 dents à la roue de rencontre ; car le diametre de cette roue étant donné, ainsi que la grosseur du corps de la verge de balancier ; moins cette roue aura de dents, & plus l'arc de levée sera grand, & celui de recul sera dans un moindre rapport avec celui de levée ; condition qui conduit à l'isochronisme (559).

2389. Le balancier doit être tracé d'après la diſpoſition des pieces du dedans qui doit être combinée de ſorte à ménager ſa place convenablement, pour que le talon de potence deſcende à fleur de la platine des piliers ; on a par ce moyen une plus grande roue de rencontre. Le balancier doit être ſitué, le plus qu'il ſe peut, dans le milieu de la cage ; par ce moyen, cela rend la boîte de la montre moins élevée.

2390. Le balancier placé ſur le calibre, comme on le voit dans la fig. 1, on marquera le coq dont la grandeur doit être la même que celle du balancier ; ainſi les deux traits ſe confondent: pour donc déſigner le coq, il faut tracer la direction *t u* des pattes pour les vis ; or cette direction dépend de l'endroit où on peut placer la roſette ; car les pieds du coq doivent être perpendiculaires à la ligne qui paſſe du centre de la roſette à celui du balancier ; mais pour placer la roſette, il faut choiſir un endroit où elle ne recouvre aucun trou de pivots, non plus que la couliſſe & les pieds du coq ; car j'ai déja fait obſerver que lorſqu'une piece quelconque paſſe par-deſſus le réſervoir d'un pivot, elle attire toute l'huile contenue dans ce réſervoir ; il faut auſſi choiſir, autant que cela ſe peut, une place pour la roſette qui ſoit telle, qu'elle ſoit la plus grande poſſible ; car il eſt néceſſaire que la roue de roſette ſoit grande, afin que le rateau parcoure un grand eſpace, & que par ce moyen tous les changements qui peuvent arriver dans les huiles, frottements, &c, n'obligent jamais, ainſi que cela arrive fréquemment, d'alonger ou d'accourcir le ſpiral par le piton ; & la roſette doit être grande pour que ſes diviſions ſoient plus ſenſibles.

2391. Pour tracer le deſſus, comme nous venons de le dire, la roſette *p* (*fig.* 1) ſe placera entre le barillet & la fuſée ; il faut qu'elle ſoit aſſez diſtante du trou de fuſée, pour loger l'un des pieds de la couliſſe entre la roſette & le pont de fuſée ; l'autre pied de la couliſſe doit être à même diſtance du centre de la roſette, que le premier ; la roſette doit être attachée par deux vis, comme on le voit (*fig.* 8); par ce moyen les chiffres & diviſions gravés ſur cette eſpece de cadran, ne ſont pas

coupés, & la rosette plaque mieux sur la platine : les pattes 6, 8 (*fig* 1) que la rosette doit porter pour ces vis, doivent être assez écartées pour ne pouvoir toucher aux pieds de la coulisse ; & il faut, autant que cela se peut, que ces pattes de la rosette soient près du milieu, afin qu'elle soit fixée solidement : pour donner à ces pieces une symmétrie qui ne nuise pas à la bonté de la machine, il faut placer sur un arc de cercle tiré du centre de balancier, & pour leur distance du centre de la rosette, on tirera un autre arc, dont les sections avec le premier déterminent la position des vis ; on placera de même les pieds *l*, *l* de la coulisse, à même distance du centre du balancier.

2392. On tracera la roue de rosette *m* que l'on tiendra aussi grande qu'elle est marquée sur le calibre. On voit que cela rapproche de beaucoup le rateau du centre du balancier ; & voici pourquoi je donne cette disposition à la coulisserie ; 1°, c'est qu'en tenant une roue de rosette grande, cela augmente le chemin du rateau, & donne la facilité de régler sa montre, quoique les huiles soient fort épaissies, &c (566) ; 2°, on fait ordinairement battre la cheville de renversement sur le bout de la coulisse, & cette cheville passe par-dessus le rateau, & souvent y touche, ce qui arrête la montre ; ou bien elle passe par-dessus la coulisse, & dans ce cas ou la montre arrête, ou le rouage court, & la roue de rencontre s'estropie contre les palettes ; il est vrai que l'un & l'autre de ces accidents arrivent peu à des montres faites avec soin ; mais alors on est obligé de tenir la coulisse plus épaisse, ce qui rend le coq plus élevé, & sans nécessité ; 3°, la roue de rosette étant grande, & l'espace parcouru par le rateau augmentant à proportion, il arriveroit que lorsque la coulisse est coupée de longueur convenable à arrêter la cheville de renversement, le rateau seroit presque entiérement à découvert, & son ajustement moins solide. Je remédie donc à ces obstacles en laissant une grande largeur en dehors du rateau ; car par ce moyen, pour faire le renversement, je forme sur la coulisse l'entaille *p q* telle qu'on la voit dans la fig. 8, & la cheville qui peut être fort longue tourne autour du rateau & de la matiere ré-

servée à la couliſſe, & va battre contre le fond que l'on recule ſelon qu'il en eſt beſoin ; je conſerve la couliſſe auſſi longue qu'il la faut pour recouvrir tout le chemin parcouru par le rateau. Comme les bouts de la couliſſe ſont aſſez éloignés des vis qui la fixent à la platine, il pourroit arriver que ces bouts de la couliſſe ſe ſouleveroient lorſqu'on fait mouvoir ce rateau ; c'eſt pour éviter cela que l'on fixera ſur la platine deux eſpeces de griffes qui retiendront la couliſſe appliquée contre la platine.

2393. On tracera le coqueret qui doit porter le pivot ſupérieur du balancier : on obſervera que ce pivot caſſe preſque toujours par la moindre chûte de la montre ; or pour prévenir cet accident, en place du coqueret du balancier, je forme un pont qui éloigne le pivot du balancier, enſorte que celui-ci ſe trouve auſſi près du milieu de l'axe qu'il ſe peut ; alors le tigeron paſſe ſeulement avec liberté à travers le trou du coq qui lui eſt concentrique ; ce trou ne doit pas être trop aggrandi ; par ce moyen, ſi la montre tombe, la verge fléchit, & le tigeron reçoit tout l'effort du coup, de ſorte que le pivot ne caſſe pas ; mais quand même cela arriveroit, l'accident en ſeroit borné là ; car le rouage ne pourroit pas *courir*, ni les dents de la roue de rencontre s'émouſſer, ainſi que cela arrive à preſque toutes les montres où le pivot de balancier caſſe. Mais s'il arrive que la chûte faſſe caſſer un pivot de balancier dans nos montres, voici comment il faut le réparer ; c'eſt d'ajuſter ſur le tigeron du pivot caſſé, un *chaperon* ſur lequel on levera un pivot de même dimenſion que celui caſſé. Pour faire ce chaperon *e f* (*fig.* 11), on perce ſur le tour un bout d'acier bien pur, de groſſeur convenable à former un canon ſolide autour du tigeron ; le trou doit être de la groſſeur du tigeron, c'eſt-à-dire, propre à y entrer juſte ; la profondeur du trou doit être un peu moindre que la longueur du tigeron ; car il faut raccourcir ce tigeron, afin que le trou ne ſoit pas coupé par le pivot que l'on doit former au chaperon, & qu'il reſte de la matiere, comme on le voit dans la figure 11 : le trou ainſi fait, on y paſſe un équarriſſoir pour le rendre uni,

& de groſſeur à entrer à force ſur le tigeron : on formera une pointe au bout où doit être le pivot ; on mettra ce chaperon ſur un arbre liſſe ; on jettera la pointe pour que l'arbre tourne rond ; en cet état, on tournera le chaperon, & on lui donnera à-peu-près la figure que l'on voit en *ef* (*fig.* 11) ; cela fait, on le trempera, & on le fera revenir bleu-jaunâtre ; on nettoiera le trou, & on le chaſſera ſur le tigeron, & bien au fond ; on jettera la pointe, ſi la verge de balancier & le balancier ne tournent pas rond ; & juſqu'à ce que cela ſoit, on tournera le chaperon dans toute ſa longueur ; on fera le pivot, on agrandira le trou du coq, pour que le chaperon y paſſe librement, & on raccourcira le pivot, ſi le balancier eſt trop haut en cage, &c.

2394. Quand on fait rouler le pivot ſupérieur de la fuſée dans la platine même, l'huile que l'on met à ce trou eſt ſouvent expoſée à être attirée par le crochet de fuſée qui ſe trouve fort près de ce pivot : c'eſt pour éviter ce défaut que l'on doit faire uſage du pont que l'on met à la fuſée ; mais il faut le faire plus ſolide qu'on ne fait communément, afin, 1°, qu'il ne puiſſe fléchir par l'effort qu'il reçoit pendant qu'on remonte la montre ; 2°, il faut que la partie qui reçoit le pivot (*) ſoit fort épaiſſe, afin d'avoir de quoi former un réſervoir qui contienne beaucoup d'huile : on tracera ce pont ſur le calibre ; il ne faut pas le contourner, cela ne ſe feroit qu'aux dépens de ſa ſolidité : je ne fais conſiſter l'élégance dans des machines utiles, comme ſont celles qui meſurent le temps, que dans l'intelligence que l'Artiſte emploie à leur compoſition,

(*) A propos de ce pivot, pluſieurs Auteurs qui ont écrit ſur l'Horlogerie ſe ſont trompés très-groſſierement quand ils ont dit : *Le pivot ſupérieur* (de la fuſée) *devroit avoir ſon diametre beaucoup plus petit que celui du pivot inférieur.* Cela eſt contraire à tout principe de méchanique ; car c'eſt comme ſi l'on diſoit que parce que les roues de groſſes horloges qui ſont plus peſantes que celles d'une montre, il faut en rendre les pivots plus petits. Bien loin que l'on doive tenir le pivot ſupérieur de la fuſée plus petit que celui de la baſe, il faudroit au contraire (le pivot de la baſe étant de bonne groſſeur) que le nombre des parties frottantes du pivot ſupérieur fût au nombre de parties frottantes du pivot inférieur, comme la preſſion au ſommet eſt à la preſſion de la baſe ; dès-lors le frottement ſera égal ſur chaque pivot, & il ſera conſtant,

dans la ſolidité convenable à chaque partie, & dans la juſteſſe de la marche de la machine.

2395. Le deſſus étant ainſi tracé, il faudra marquer la place des piliers, & de ſorte qu'ils ne gênent ni aux roues contenues dans la cage ni aux pieces du deſſus de platine : les bouts des piliers ou pivots que l'on goupille pour aſſembler la cage, ne doivent paſſer ni ſous le coq ni ſous la roſette ; mais en être même aſſez éloignés pour que les goupilles n'approchent d'aucunes pieces, afin d'avoir la facilité de les ôter : il faut ne pas trop approcher du dedans de la cage le pilier ſitué entre le barillet & la roue de fuſée, afin qu'il ne puiſſe pas toucher à la chaîne lorſque la montre *eſt au bas*, c'eſt-à-dire que la chaîne entoure le barillet, & qu'il n'y a plus qu'une partie d'un tour ſur la baſe.

2396. Pour diminuer le frottement qu'éprouve le pivot du côté de la roue de rencontre, il faut, au lieu de placer la contre-potence ſur le bord de la platine, & de faire paſſer la tige à côté de celle de champ, placer cette contre-potence en dedans, entre la tige de champ & la potence, comme on le voit (*fig.* 8) ; *n o* repréſente cette contre-potence ; il en réſultera, 1°, que les deux pivots de rencontre ſouffriront une égale preſſion, ce qui donnera la liberté de tenir ces pivots plus petits que l'on ne pourroit le faire ſans cette diſpoſition; 2°, l'engrenage de champ en ſera meilleur; 3°, le trou du nez de potence dans lequel roule le pivot du dedans de la roue ne pourra pas ſe rendre ovale, ainſi que cela arrive par la mauvaiſe diſpoſition que l'on donne à cette partie ; ainſi l'échappement reſtera conſtamment le même ; on tirera donc un trait *y i* (*fig.* 1) du centre de la roue de champ au centre du balancier ; ce trait déſignera l'axe de la roue de rencontre ; & on tirera du centre du balancier un trait *i z* perpendiculaire au premier, lequel indiquera le plan de mouvement du lardon de potence.

2397. Le barillet étant de toute la hauteur de la cage, on ne pourra pas placer la charniere du mouvement ſous le barillet, ainſi que cela ſe pratique ; on la mettra donc à côté

du barillet entre la fusée ; on tirera de l'endroit où cette charniere doit être, un trait qui passe par le milieu du calibre ; ce trait marqué *a* dans le calibre, représente aussi l'endroit des 12 heures ; on marque à son opposite *b*, la place du ressort de cadran.

2398. Le calibre ainsi tracé, on perce des trous sur chaque centre, roue, vis, &c ; on ne doit pas se servir du même foret pour chaque trou ; car ceux des piliers doivent avoir environ $\frac{1}{2}$ ligne de diametre ; ceux de barillet & de fusée $\frac{1}{3}$, ainsi que ceux des vis de rosette & de coulisse ; ceux de champ & de petites moyennes $\frac{1}{8}$, &c.

2399. Les trous percés, on marquera sur le bord *a* un petit trait à travers l'épaisseur du calibre ; on se servira de ce trait pour tracer de l'autre côté (*fig.* 2) un trait *a b* qui passe de l'endroit marqué au bord par le centre ; ce trait désignera la ligne de midi.

2400. On tracera sur ce côté du calibre le pont dans lequel doivent rouler les pivots de roue de champ & de petite moyenne, & tel qu'on le voit en *i k* : pour le rendre plus solide, on doit l'attacher avec deux vis dont on marquera la place sur le calibre.

2401. En donnant au barillet toute la hauteur de la cage, ainsi que nous le faisons ici, on ne peut pas placer une vis sans fin pour soutenir l'effort du ressort. Il faut donc employer, comme on le fait dans les pendules, un rochet & un cliquet ; & cette méthode est infiniment préférable ; car les vis sans fin sont très-difficiles à bien faire ; il y a plus d'ouvrage, & peu d'Ouvriers les font bonnes, & elles n'ont d'ailleurs aucun avantage. L'encliquetage, pour retenir l'arbre de barillet, sera donc posé sous le cadran ; on tracera cet encliquetage, ainsi qu'on le voit en *g h* sur le calibre ; ce rochet *g* doit être d'acier. Quand les montres sont à répétition, l'encliquetage ne peut pas se placer sous le cadran, à cause de la cremaillere ; mais alors on le met sous le barillet ajusté quarrément comme une roue de vis sans fin, le cliquet ajusté de même sur la platine en dessous du barillet,

2402

2402. Pour déterminer la grandeur du rochet d'encliquetage de l'arbre de barillet, il faut premiérement tracer sur le calibre la roue de cadran, & celle de renvoi; il faut placer celle de renvoi entre le bout *i* du pont, & le rochet *g* d'encliquetage. Pour déterminer la grandeur & la position de ces roues, on se réglera sur le nombre de leurs dents & des pignons qui les menent: ici le pignon de chaussée a 10 dents; il engrene dans la roue de renvoi qui en a 30; le pignon que porte la roue de renvoi est de 8; il engrene dans la roue de cadran de 32 dents. On tracera donc ces roues en conséquence, & on fera ensuite le rochet d'encliquetage de toute la grandeur qu'il peut avoir pour ne pas gêner ces roues : voyez la figure 2.

2403. Lorsqu'on fait la disposition d'une montre, il faut profiter de toute la place que l'on a pour écarter les pieces les unes des autres; nos cadrans d'émail, par exemple, sont assez convexes, & il en faut profiter pour élever les minuteries ou roues de cadran. Pour cet effet, il faut, 1°, comme on le voit (*fig.* 4), faire une *noyure* profonde, pour éloigner autant qu'il est possible, le pivot de la grande roue moyenne de cette roue; & pour cela, il faut profiter de l'épaisseur de la platine, à laquelle je pratique une batte, comme on le voit dans le profil; cette batte me fournit des ponts qui allongent les tigerons, & font que la pression des roues se fait au milieu des axes : 2°, il faut élever le pignon de chaussée *c* assez au-dessus du réservoir du trou du pivot de grande roue moyenne, pour qu'il ne puisse pas en attirer l'huile : enfin par cette disposition, la roue de renvoi *e* se trouve élevée au-dessus de la platine, ce qui retranche le frottement qu'elle produit lorsqu'elle roule sur la platine même, ainsi que cela se pratique. Or pour diminuer encore le frottement de cette roue, il faut la faire rouler sur deux pivots dont l'un entre dans un trou de la platine, & l'autre dans le trou d'un pont; par ce moyen on ôtera toute équivoque au jeu qu'elle doit avoir; car on sait que, selon l'usage ordinaire, cette roue est retenue par le cadran, ensorte que j'ai presque toujours vu ces roues n'avoir pas le jeu convenable, & au point de pouvoir défen-

grener de la chauſſée ; lorſque le cadran eſt appliqué, on ne voit pas comment la roue en approche ; par le moyen que j'emploie, le moins adroit peut arranger ce pont *d* ; on le tracera ſur le calibre, comme on le voit dans la figure 2 : quoique cette roue ſoit maintenue par un pont & des pivots, il faut percer le pignon dans ſa longueur, cela facilitera l'exécution des pivots, parce qu'on tournera le tout ſur un arbre liſſe.

2404. Pour avoir un tigeron de bonne longueur au-deſſous de la roue de fuſée, & empêcher l'huile du réſervoir d'en pouvoir être attirée, il faut faire une noyure profonde à la platine en laiſſant ſeulement aſſez d'épaiſſeur pour y river ſolidement un bouchon que l'on laiſſera ſaillant ſous le cadran, afin que le trou ait une épaiſſeur convenable, & qu'il y ait un réſervoir qui contienne beaucoup d'huile. Voyez la fig. 7.

2405. Pour rendre les frottements conſtants, il eſt eſſentiel, comme je l'ai déja répété pluſieurs fois, de pratiquer de bons réſervoirs pour contenir beaucoup d'huile : pour cet effet, lorſqu'une platine eſt mince, il faut y mettre des bouchons épais & ſaillants au-deſſus, afin qu'en outre la longueur du trou, il reſte une épaiſſeur convenable pour former le réſervoir ; or il faut que le bouchon ait au moins deux fois la longueur du pivot. Quand on met des barrettes pour alonger les tigerons, il faut que ces barrettes ſoient épaiſſes, ſinon il faut y mettre des bouchons épais : il y a une quantité de montres qui péchent par-là, enſorte que l'huile eſt en ſi petite quantité, le trou ſi mince, que celui-ci ſe déchire, & l'huile ſe deſſéche, ce qui détruit & fait varier les montres. Ces ſortes de bouchons ſaillants dont je parle, ont même un avantage, c'eſt qu'ils garantiſſent de la pouſſiere l'huile contenue dans le réſervoir ; il ſeroit très-convenable de boucher ainſi tous les trous par des parties ainſi ſaillantes ; car 1°, l'huile eſt moins attirée en dehors du réſervoir, parce qu'elle eſt iſolée & retenue dans ſon trou ; 2°, c'eſt que la pouſſiere qui tombe ſur la platine, ne peut que gliſſer deſſus, ſans entrer dans le réſervoir.

2406. Nous devons encore obferver ici que l'on ne doit pas faire ufage des trous foncés pour faire rouler les pivots: cette méthode eft très-défectueufe ; car l'huile qui eft dans le fond du trou ne fe renouvelle point, enforte que les particules qui fe détachent par le frottement & les atômes qui s'attachent à l'huile n'ont point d'iffue pour fortir du fond du trou ; ainfi l'huile fe noircit bien-tôt, ronge le pivot, & ôte toute la liberté du mouvement ; c'eft pour ces raifons qu'il faut faire ufage des contre-potences pour les roues de rencontre. J'ai dit (*626*) qu'il falloit faire un trou foncé au nez de potence pour y faire rouler le pivot de rencontre, afin d'empêcher que la palette n'en pût emporter l'huile ; mais je n'avois pas examiné toute cette matiere avec affez d'attention. J'avoue que ce n'eft pas le feul article fur lequel j'aie befoin de faire correction.

2407. Pour éviter qu'en mettant le balancier en place la palette d'en bas ne puiffe prendre de l'huile au réfervoir du pivot de rencontre, il faut recouvrir ce trou avec une petite plaque mince d'acier ; cette plaque recevra le bout du pivot ; on mettra le derriere du nez de potence en goutte de fuie pour y retenir l'huile.

2408. Pour donner aux platines & barrettes l'épaiffeur convenable, il faut favoir quelle devra être la longueur du pivot qui doit y rouler : or la proportion qu'il faut fuivre pour déterminer cette longueur des pivots, c'eft qu'elle doit être double du diametre du pivot, c'eft-à-dire, que fi un pivot a $\frac{1}{4}$ de lig. de diametre, il faut que fa longueur foit de demi-ligne. Voilà les obfervations préliminaires fur la conftruction d'une bonne montre à roue de rencontre : nous allons maintenant en décrire toutes les parties.

Defcription de cette Montre.

2409. La figure 4 (*Pl. XXXVII*) fait voir en profil le mouvement de la montre & toutes les roues placées fur la même ligne, les platines coupées par le milieu des trous ; c'eft, comme

j'ai dit, pour faire voir l'élévation de toutes les parties de la montre. *A A* est la platine des piliers ; *e e*, son épaisseur ; *a A*, *a A*, la batte ou fausse plaque ; *c c* le pont réservé au centre pour le tigeron de la grande moyenne ; *B B*, la creusure pour former la fausse plaque ; *C C* est la petite platine (les piliers ne sont pas ici représentés ; la figure 1 de la XXXVIII Planche en fait voir un) ; *D* est le barillet avec sa chaîne qui l'entoure ; *E*, la fusée ; *F*, le pont de la fusée ; *d* la noyure faite à la platine, pour que le pivot inférieur de la fusée ait un plus grand tigeron ; *g g* est l'assiette ou bouchon rivé à la platine pour former l'épaisseur du trou du pivot de fusée, & le réservoir pour l'huile ; *G* est la roue de fusée ; *h*, le pignon de la grande roue moyenne dans laquelle engrene la roue de fusée ; *I* est la grande roue moyenne qui engrene dans le pignon *k*, sur lequel est rivée la petite roue moyenne *L* : le pivot supérieur 1 de la petite roue moyenne roule dans le trou fait à la petite platine ; & l'inférieur 2, dans un trou fait au pont *f f* fixé avec deux vis & deux pieds sur le dehors de la platine des piliers ; l'élévation de ce pont dépend de la hauteur de la fausse plaque & de la courbure du cadran ponctué *A'* 2 *A*. La petite roue moyenne *L* engrene dans le pignon *l*, sur lequel est rivée la roue de champ ; le pivot supérieur 3 de la roue de champ roule dans le trou de la petite platine, & celui 4 dans celui fait au pont *f f* ; la roue de champ *M* engrene dans le pignon *m*, sur lequel est rivée la roue de rencontre *N* ; le pivot de la roue de rencontre du dedans de la roue roule dans le trou fait au nez de potence *O* ; & l'autre pivot roule dans le trou fait à la contre-potence *n*. La verge de balancier *o p* porte deux pivots dont l'un supérieur *p* roule dans le trou fait au coqueret *P* fixé avec une vis & deux pieds sur le coq *Q* ; celui-ci se fixe sur la petite platine avec deux vis & deux pieds ; le pivot inférieur de la verge de balancier roule dans le trou fait au talon de la potence *O* ; la verge de balancier porte deux palettes qui engrenent dans les dents de la roue de rencontre, ce qui forme l'échappement (135) ; le balancier *R R* est rivé sur l'assiette 5 soudée à la verge *o p* : *r r* représente la coupe

de la coulisse & du rateau appliqué sur la petite platine; il faut que le balancier n'approche pas trop près ni du dessus du coq, ni du dessus de la coulisse, afin que la poussiere qui pourroit s'y arrêter ne puisse interrompre le mouvement du balancier : la plaque d'acier *s* sert à recevoir le bout du pivot de la verge, afin que la portée ne frotte pas au coqueret. Je supprime l'agathe dont on fait usage assez communément, par la raison qu'elle prenoit une hauteur qu'il vaut mieux employer à augmenter le tigeron *p*; d'ailleurs cette plaque étant trempée fort dure, le pivot ne la ronge pas : cette plaque est fixée par la même vis *t* qui arrête le coqueret sur le coq; le pivot supérieur *6* de la grande roue moyenne roule dans le trou fait au centre de la petite platine, & le pivot 7 roule dans le pont réservé au centre de la platine des piliers; ce pivot prolongé 7, 8 porte le pignon de chaussée *u* qui engrene dans la roue de renvoi *S*; celle-ci est rivée sur le pignon *x*; ce pignon porte deux pivots, l'un *9*, roule dans le trou fait à la platine des piliers, & l'autre 10, dans le trou du pont *T* 10 attaché par une vis & deux pieds à la platine; le pignon *x* engrene dans la roue de cadran *V* rivée sur un canon qui roule sur celui de chaussée; le bout 11 du canon de chaussée est quarré; sur ce quarré est ajustée l'aiguille des minutes *X*; la goupille *z* traverse le bout du pivot de grande moyenne, & retient la chaussée *u* 11 sur la tige : l'aiguille des heures *Y* s'ajuste à frottement sur le canon de la roue de cadran; le pivot 12 de l'arbre de barillet entre dans le trou fait à la petite platine; & celui 13, dans celui de la platine des piliers; la partie saillante de ce pivot est limée quarrée pour recevoir le rochet d'encliquetage *Z*; le bout prolongé 14 du quarré sert à donner la bande convenable au ressort moteur contenu dans le barillet *D* : 15 est le quarré de fusée qui sert à remonter la montre : les encoches *16*, *6*, 1, *3*, *gg*, 7, 2, 4 que l'on voit faites aux ponts & platines, représentent la coupe des réservoirs que l'on a pratiqués aux bouts des trous des pivots pour y conserver l'huile.

2410. La figure 5 représente le dedans de la platine des piliers vue en plan avec les pieces qu'elle porte lorsqu'on

vient d'ôter la petite platine. *A A* eſt la platine ; 1, 2, 3, 4 les piliers ; *D*, le barillet ; *G*, la roue de fuſée ; *h*, le pignon de longue tige ; *I*, la grande roue moyenne; *i* le pignon qui porte la petite roue moyenne *L*;*l* le pignon de la roue de champ;*F* eſt la charniere qui attache le mouvement de la montre après la boîte;*R* eſt la tête du reſſort de cadran;*P P*,la noyure faite dans l'épaiſſeur de la platine pour y loger la grande roue moyenne.

2411. La figure 6 repréſente le dedans de la petite platine avec les pieces qu'elle porte pour être aſſemblée avec la figure 5, & former la cage. *C C* eſt cette platine; *O*, la potence attachée à la platine avec une forte vis & deux *pieds* ; *d* eſt la vis de rappel qui fait mouvoir le lardon *e f* qui porte le nez de potence dans lequel roule le pivot du dedans de la roue de rencontre *N* fixée ſur le pignon *m*; l'autre pivot que porte ce pignon roule dans le trou de la contre-potence *n o* attachée à la platine avec une vis *q* & un pied ; cette contre-potence porte la plaque d'acier *o* attachée avec la vis *p* ; c'eſt ſur cette plaque que roule le bout du pivot ; la partie *r* de la contre-potence eſt arrondie en goutte de ſuie du côté de la plaque pour y retenir l'huile du pivot ; le nez ou lardon de potence porte auſſi une plaque d'acier pour recevoir le bout de l'autre pivot ; nous expliquerons cet ajuſtement ci-après : la plaque *P* eſt attachée à la potence *O* avec la vis *s* ; c'eſt ſur cette plaque que roule le bout du pivot inférieur de la verge de balancier : 1, 2, 3, 4 ſont les trous dans leſquels paſſent les pivots des piliers, & *h*, *i*, *l*, les trous pour les pivots des roues de grande moyenne, petite moyenne & de champ. *Q*, *R*, *V* repréſente le garde-chaîne; *Q* eſt le *plot* piece de cuivre rivée à la platine ; elle eſt fendue pour recevoir le bout *a* du garde-chaîne;le plot & le garde-chaîne ſont traverſés par la cheville *c* ſur laquelle le garchaîne eſt mobile ; c'eſt ſur le bout *b* que vient arcbouter le crochet de fuſée (ponctué en *T*) lorſqu'il eſt preſſé par la chaîne *S* ; le reſſort *V* preſſe le deſſous du garde-chaîne, afin d'écarter le garde-chaîne du crochet à meſure que la montre marche, & que par conſéquent la chaîne s'applique ſur le barillet,

2412. La figure 7 représente en perspective le dehors de la grande platine avec les pieces qu'elle porte : elles sont situées sous le cadran. *A A* est la platine ; *B B*, la partie creusée pour former la batte ou fausse plaque *A* : cette fausse plaque est rompue en *a a* pour laisser voir toutes les pieces portées par le fond de la platine. *F* est la charniere pour faire ouvrir le mouvement sur la boîte de la montre ; sur le côté opposé de *F*, la platine porte un ressort qui retient le mouvement fermé : on fera voir ce ressort dans les développements. *Z* est le rochet d'encliquetage du barillet ; *C* est le cliquet, & 14 l'arbre prolongé du barillet ; *g g* est le bouchon pour former le réservoir pour l'huile du gros pivot de fusée. *D* est le quarré de fusée pour remonter la montre ; ce quarré porte l'entonnoir *E* qui sert à empêcher la poussiere qui entre avec la clef par le trou du cadran, de descendre dans l'huile du réservoir *g g* : *c c* est le pont réservé au centre de la platine pour alonger le tigeron de la grande moyenne ; *f f* est le pont dans lequel roulent les pivots de petite moyenne & de champ : la chaussée *u* 11 entre à frottement sur le pivot prolongé de la roue de longue tige ; pour empêcher cette chaussée d'approcher trop près du sommet du pont *c c*, il y a une portée qui est levée sur ce pivot, & sur laquelle pose le bout inférieur *u* de la chaussée : pour produire le frottement sur le pivot 8, la chaussée est fendue , comme on le voit en *d* ; le pignon de chaussée *u* engrene dans la roue de renvoi *S*, mise en cage entre le pont *T* & la platine, au moyen des deux pivots formés sur le pignon *x*, sur lequel la roue *S* est rivée : ce pont *T* est attaché sur la platine avec une vis & deux pieds.

2413. La figure 8 fait voir en plan le dehors de la petite platine avec les pieces qui forment le *dessus*. *C C* est la platine ; 1, 2, 3, 4, les trous pour les pivots de piliers ; *F* le pont de fusée ; *D D* la coulisse sous laquelle se meut en coulisse le rateau ponctué *E E*, portant en *a* le bras, entre les chevilles duquel passe le spiral *b c d* ; la coulisse est attachée sur la platine avec deux vis *e*, *f* ; & pour empêcher que les bouts *g*, *h* de la coulisse ne s'écartent de la platine, ils sont recouverts par deux griffes

fixées à la platine ; ces griffes sont en biseau, ainsi que le bout de la coulisse, afin de ne pas faillir au-dessus, & toucher au balancier. *G* est le piton du spiral ; ce piton porte un pivot qui entre à frottement dans un trou fait à la platine ; c'est sur ce piton qu'est fixé le bout extérieur du spiral au moyen de la cheville *i* ; l'autre bout *d* du spiral se fixe à la virole de spiral. *H I* est la *rosette* ou cadran qui sert à indiquer le chemin que l'on fait faire au rateau pour régler la montre : cette rosette est attachée à la platine par les deux vis *l*, *m* ; la rosette est creusée en dessous pour y loger la roue de *rosette K*, fixée sur l'axe *n* qui porte l'aiguille *o* ; cette roue engrene dans le rateau *E a* : ainsi lorsqu'on fait tourner l'aiguille *n o* par son quarré, on fait mouvoir le rateau, ce qui alonge ou accourcit le spiral, & par conséquent fait avancer ou retarder la montre (*166*) : les especes de degrés *D p*, *D q* faits à la coulisse servent à arrêter la cheville de renversement du balancier, laquelle vient battre contre les parties *p*, *q*.

2414. La figure *9* représente le coq de balancier. *A B* sont les pattes qui servent à l'attacher sur la petite platine (*fig*. 8) ; 1, 2 sont les trous des vis ; *P* est le coqueret de cuivre dans lequel roule le pivot supérieur du balancier ; *t* est le coqueret d'acier sur lequel le bout du pivot roule.

2415. La figure 10 fait voir le balancier en perspective, & tel qu'il est lorsqu'on l'ôte de dessus le mouvement, & entiérement fini. *R R* est le balancier ; *a*, *b*, les pivots de la verge de balancier ; *c*, *d*, les palettes ; *e* la virole de spiral mise à frottement sur l'assiette de la verge ; *e f* est le spiral dont le bout *e* se fixe par une cheville avec la virole ; le bout *f* du spiral est fixé au piton *g h* au moyen de la goupille *i* ; le bout ou pivot *h* du piton est fait pour entrer à frottement dans un trou fait à la petite platine (*fig*. 8) ; *k* est la cheville de renversement.

2416. *a b c d* (*figure* 11) représente la virole de spiral vue en perspective : *a* est le trou qui entre sur l'assiette ; *b* la fente faite à la virole pour qu'elle fasse ressort ; *c d*, le trou dans lequel

lequel passe le bout intérieur du spiral pour y être arrêté par une cheville.

2417. *Pp* (*fig.* 1) fait voir la roue de cadran en perspective : *P* est la roue, & *p* le canon sur lequel elle est rivée ; c'est sur le bout *p* de ce canon qu'entre à frottement le canon de l'aiguille des heures.

2418. *G z* (*fig.* 12) fait voir de profil le bouchon *g g* de la figure 7, dans lequel roule le gros pivot de fusée : *G* est la partie dans laquelle est fait le réservoir pour l'huile ; & *z* l'assiette & le canon pour river ce bouchon sur la platine.

PLANCHE XXXVIII.

2419. La premiere figure fait voir en profil un des piliers de la cage du mouvement.

2420. La seconde figure représente le barillet, son couvercle, l'arbre & la *bride*. *A* est le couvercle vu du dedans avec la têtine *a* dont le trou concentrique reçoit le pivot *b* de l'arbre *B* : *C C* est le barillet vu en perspective par le dedans ; *g g* est la têtine dont le trou reçoit la partie *c* du pivot de l'arbre de barillet; le rebord *h* est creusé en dedans pour que le bord du couvercle y entre à drageoir ; le crochet *o* fixé en dedans de la circonférence du barillet sert à retenir le bout extérieur du ressort moteur ; *D* est la bride qui empêche le ressort de fléchir ; cette bride traverse le barillet avec lequel elle est retenue ; le bout *l* de cette bride entre dans l'ouverture *i* du fond de barillet ; & le bout *m* de la même bride entre dans l'entaille *r* du couvercle *A* ; *f* est le crochet de l'arbre du barillet ; ce crochet entre dans le trou fait au bout intérieur du ressort moteur ; *d* est le pivot de l'arbre de barillet *B* qui entre dans le trou fait à la petite platine ; *e* est le pivot du même arbre qui entre dans le trou fait à la platine des piliers ; *p* est la partie prolongée hors de la platine pour recevoir quarrément le rochet d'encliquetage ; l'entaille *q* faite au couvercle *A*, sert à démonter le couvercle de dessus le barillet.

2421. La figure 4 représente l'arbre de fusée, de profil

& en perſpective. Cet arbre eſt fait d'une ſeule piece forgée, ce qui rend le crochet plus ſolide ; on ſoude communément à l'étain, l'arbre ſur la fuſée ; mais cette méthode eſt défectueuſe ; car ces ſortes de fuſées ſont ſujettes à ſe deſſouder : voici donc un ajuſtement qui eſt préférable, & qui a d'ailleurs l'avantage de permettre de refaire ſans difficulté une fuſée en conſervant l'arbre ; c'eſt de faire entrer bien juſte la tige *a* dans le trou concentrique de la fuſée *B* (*fig.* 5) ; on arrête l'arbre avec la fuſée au moyen d'une vis ; on rend cet ajuſtement encore plus ſolide en pratiquant au ſommet *b* de la fuſée une creuſure dans laquelle ſe noye l'épaiſſeur du crochet, & l'on fait en *b* une entaille dans laquelle entre très-juſte le crochet ; ainſi il ne peut pas tourner ſéparément de la fuſée ; la vis ſert à retenir l'arbre appliqué contre la creuſure.

2422. Pour donner à la fuſée toute la grandeur qu'elle peut avoir, on loge dans ſa baſe l'encliquetage ; pour cet effet, la baſe *C C* (*fig.* 5) eſt creuſée de deux renfoncements ; dans le premier *a a* ſe loge le reſſort d'encliquetage, & le cliquet porté par la roue de fuſée *D D* (*fig.* 7) ; dans le ſecond *c c* entre fort juſte le rebord *c c* du rochet *E*, vu en perſpective (*fig.* 6) ; les dents du rochet s'appliquent ſur le premier enfoncement *a a* (*fig.* 5); ce rochet vu en profil (*fig.* 6) porte deux chevilles 1, 2, ou tenons qui entrent dans les trous *c*, *c* (*fig.* 5); ainſi le rochet eſt entraîné par la fuſée, & il reſte appliqué ſur le fond de ſa creuſure, au moyen de la roue de fuſée qui le retient ; *F* (*fig.* 7) eſt la *goutte* (piece d'acier) qui entre à frottement ſur l'arbre de fuſée, & retient par ce moyen la roue *D D* (*fig.* 7) appliquée contre la baſe de la fuſée ; cette goutte *E* ſe loge dans une noyure faite au centre de la roue de fuſée ; c'eſt pour cela que l'on réſerve la têtine *d d* ; cette têtine ſe loge dans le vuide du rochet *E* (*fig.* 6) ; *e e f* eſt le reſſort d'encliquetage rivé ſur la roue avec des petites chevilles de cuivre ; *g* eſt le cliquet.

2423. *A* (*fig.* 8) fait voir en perſpective le garde-chaîne.

2424. *B* (*fig.* 8) repréſente le pont de fuſée auſſi vu en

perſpective avec ſes deux tenons *a*, *b*, & le réſervoir pour l'huile du pivot ſupérieur de la fuſée.

2425. Les figures 9 & 10 repréſentent la potence avec le lardon & les plaques d'acier pour recevoir les bouts des pivots de rencontre & de balancier ; la potence *C* eſt vue de profil (*fig.* 9) ; *d d* eſt la rainure faite pour y loger le lardon ou nez de potence *D* ; la vis de rappel *e* entre dans le trou taraudé de la potence parallele au chemin du lardon ; la partie *g* de cette vis entre dans l'entaille *h* du lardon *D* ; ainſi celui-ci ſe meut dans la rainure de la potence, ſelon que l'on fait tourner la vis de rappel ; ce mouvement du nez de potence eſt néceſſaire pour mettre parfaitement la montre dans ſon échappement. Pour retenir le lardon appliqué contre le fond de la rainure *d d* de la potence, celle-ci eſt percée en *k* d'un trou dans lequel entre une vis dont la tête appuie ſur le lardon ; & pour que la vis n'empêche pas le mouvement du lardon, on alonge le trou *l* à travers lequel la vis paſſe ; la plaque *E* eſt d'acier ; elle s'attache ſur le haut de la potence, pour recevoir le bout du pivot de la verge de balancier qui roule dans le *talon f* de la potence ; ce talon eſt arrondi en goutte de ſuie par deſſus, pour retenir l'huile du pivot entre cette partie ſphérique & la plaque *E* ; les tenons 1, 2 de la potence entrent très-juſte dans des trous faits à la petite platine.

2426. Pour que l'huile que l'on met au pivot de rencontre ne puiſſe être emportée par la palette, feu M. Julien le Roi imagina de recouvrir ce trou d'une plaque d'acier *F* (*fig.* 10) qui s'aſſemble avec le lardon même, qui eſt retenu avec elle par la vis qui fixe le lardon ; le bout du pivot de rencontre roule ſur cette plaque ; & pour retenir l'huile de ce pivot, le nez de potence *m* eſt arrondi par derriere en goutte de ſuie, de la même maniere que pour le nez de potence : on doit à MM. Sully & Julien le Roi cette excellente méthode de conſerver l'huile aux pivots : pour que le lardon d'acier ſe meuve en même temps que le nez de potence, celui-ci porte une cheville *n* qui entre dans un trou de la plaque d'acier; *G* (*fig.* 10)

fait voir la plaque d'acier assemblée ave le lardon.

2427. La figure 11 représente la contre-potence : elle est assemblée en *H* avec la plaque d'acier qui doit retenir le bout du pivot de rencontre, & elle est vue en *I* sans la plaque : *o* est la partie percée pour le pivot de rencontre ; elle est limée en goutte de suie pour retenir au sommet du trou, entr'elle & la plaque, l'huile du pivot ; *K* est la plaque d'acier.

2428. On voit (*fig.* 12) la rosette vue en-dessous ; *L L* est la creusure pour loger la roue de rosette vue en *M M* ; *p p* sont les pattes pour servir à attacher la rosette avec les vis sur la petite platine ; le quarré *q* de la roue de rosette *M* entre à force dans le trou de l'aiguille *N* ; ce quarré passe à travers le trou de la rosette ; le pivot *r* de la roue *M* roule dans un trou de la petite platine, & *s* entre dans celui de la rosette ; celle-ci recouvre la roue, ensorte qu'elle ne puisse tourner que par un frottement doux.

2429. *D D* (*fig.* 13) est la coulisse vue en-dessous : les parties *E E* font voir le profil de la coupe de la coulisse ; le rateau *F F* (*fig.* 14) est vu en plan par son dessus ; c'est ce côté qui s'applique dans la coulisse pour s'y mouvoir dans les rainures pratiquées au rateau & à la coulisse ; ces rainures sont représentées par les coupes *G G*, *H H* (*fig.* 14) ; *G G* sont celles de la coulisse, & *H H* celles du rateau.

2430. La figure 15 représente le coq de balancier vu en-dessous : *P P* sont les pattes qui servent à le fixer sur la petite platine au moyen de deux vis qui passent à travers les trous 1, 2 ; les tenons *a*, *b* fixés au coq, entrent fort juste dans les trous de la petite platine.

2431. *Q* (*fig.* 16) est le coqueret dans le trou duquel doit rouler le pivot supérieur de balancier ; *R* est le coqueret d'acier qui reçoit le bout du pivot ; cette plaque d'acier s'applique sur le dessus du coqueret ; celui-ci porte deux tenons 1, 2 qui entrent dans les trous 3 & 4 du coq (*fig.* 15) ; 5 est le trou qui est taraudé pour recevoir la vis qui applique les coquerets de cuivre & d'acier sur le coq ; le trou 6 (*fig.* 15) est

celui à travers lequel doit paſſer librement le tigeron du balancier; le coqueret *Q* (*fig.* 16) eſt arrondi en *q* , en goutte de ſuie pour retenir l'huile au pivot.

2432. La figure 17 repréſente la verge de balancier fort en grand ; l'aſſiette T ſur laquelle on doit river le balancier, eſt prête à entrer ſur la tige *V* pour y être ſoudée.

2433. La figure 18 repréſente le reſſort de cadran : *D* eſt le reſſort ; *A* la tête ou verrouil qui arrête le mouvement avec la boîte ; *B* eſt la plaque d'acier que l'on pouſſe avec le doigt ou avec l'ongle pour ouvrir le mouvement.

2434. Figure 19 eſt un arbre dont on ſe ſert pour tourner parfaitement d'épaiſſeur & ronds les balanciers : pour cet effet, on fait entrer bien juſte le trou du balancier ſur le pivot *a* de l'arbre ; ce pivot doit être parfaitement tourné rond , ainſi que la baſe *b b* contre laquelle s'applique le balancier; le balancier eſt arrêté ſur cette baſe au moyen des trois vis 1 , 2 , 3 , & de la plaque *c c* : pour tourner le balancier, il faut d'abord le croiſer, mais il faut avoir attention que le champ du balancier ſoit appuyé ſur la baſe de l'arbre & de la plaque *c c*, d'où l'on voit qu'il ſeroit néceſſaire d'avoir des arbres de différentes grandeurs , ſelon le diametre des balanciers ; mais on ſupplée à cela en employant des plaques *d* , *d* bien tournées d'épaiſſeur, & qui ſe rapportent ſur la baſe *b b* au moyen des tenons 4, 5, 6 ; on met de même des plaques pour recouvrir le balancier ; les vis 1 , 2, 3 ſervent à toutes les plaques, ainſi que l'arbre *A* & ſon aſſiette *b b*.

2435. Figure 20 eſt un arbre à cire dont on ſe ſert pour tourner les platines des montres, les couliſſes , &c.



*Détails * de pratique pour l'exécution de la Montre à Roue de rencontre.*

Dimensions sur lesquelles on doit se régler pour l'exécution.

2436. La hauteur des piliers doit être 2 lig. $\frac{1}{2}$.

2437. Il faut donner une ligne $\frac{1}{4}$ d'épaisseur à la grande platine (toute forgée), afin de pouvoir y former la batte ou fausse plaque.

2438. Lorsque la fausse plaque est formée, le fond de la platine doit être de demi - ligne d'épaisseur.

2439. La petite platine doit aussi avoir demi-ligne d'épaisseur, 1°, afin qu'elle ne puisse fléchir par la pression du coq, de la potence, contre-potence & coulisserie ; car pour peu que cette platine se courbe, cela change le jeu de la roue de rencontre ; effet très-dangereux & assez commun, car j'ai vu des montres très - bien faites d'ailleurs, arrêter & varier par cette cause ; 2°, afin que les pivots aient de bonnes creusures pour l'huile.

2440. Il faut faire des piliers tournés pour les montres simples, pareils à ceux des répétitions ; ils sont plus solides, & l'Ouvrier est sûr du cuivre qu'il emploie : les piliers façonnés ne sont propres qu'à retenir les saletés, & à déchirer les doigts de celui qui nettoie la montre.

2441. Pour faire les piliers, il faut employer du cuivre de chaudiere bien écroui, & les faire de bonne grosseur, afin que les pivots qui passent à travers la petite platine, puissent soutenir, sans se fendre, de fortes goupilles.

2442. La base du pilier vu (*Planche XXXVIII, fig.* 1)

* Nous ne nous arrêterons pas autant sur toutes les parties de l'exécution d'une montre, que nous l'avons fait pour celles de la pendule ; l'exécution de celle-ci entendue conduit à la pratique des montres, & ce que j'en dis ici servira peu aux Ouvriers : c'est aux Amateurs que je destine cet article ; il y a cependant des Ouvriers à qui je conseillerois de le lire.

a une ligne $\frac{8}{12}$ de diametre, le corps une ligne $\frac{3}{12}$, & les pivots $\frac{9}{12}$; le pivot inférieur qui doit être rivé à la platine des piliers, doit être plus gros que le pivot ſupérieur.

2443. L'épaiſſeur de la roue de fuſée doit être de $\frac{4}{12}$; celle de la grande roue moyenne $\frac{3}{12}$, & les autres à proportion.

2444. Le diametre des pivots de la petite roue moyenne doit être de $\frac{5}{48}$ de lig. ; de la roue de champ $\frac{4}{48}$; des pivots de rencontre $\frac{3\frac{1}{2}}{48}$, & de balancier $\frac{3}{48}$ de lig.

2445. Quant au cuivre qu'il faut employer pour la fabrication de nos montres, je penſe que le meilleur eſt celui de chaudiere qui eſt gras, & eſt d'un jaune doré ; ce cuivre eſt plus pur que le laiton neuf, ſoit qu'il ſoit d'une autre nature, ou qu'à force d'être fondu on l'ait purifié, & que les graiſſes y aient auſſi contribué. Les trous que l'on fait dans cette ſorte de cuivre ſont moins ſujets à s'agrandir ; l'huile s'y conſerve plus pure ; ces trous rongent moins le pivot ; enfin ce cuivre eſt moins expoſé à fendre à la dorure.

Faire les Platines & monter la Cage.

2446. Pour faire les platines, il faut prendre du cuivre dont l'épaiſſeur ſoit double de celle qu'elles doivent avoir ; ainſi pour la platine des piliers, il faut prendre du cuivre qui ait 2 lig. $\frac{1}{2}$ environ d'épaiſſeur, & pour l'autre 1 ligne ; il faut couper chaque morceau plus petit que la platine, car il s'agrandira de reſte en forgeant ; on écrouira ces platines avec beaucoup de ſoin, comme nous l'avons dit (729 *& ſ.*). Les platines de montres demandent d'être forgées avec toutes les attentions imaginables ; car pour peu qu'elles le ſoient inégalement, elles ſe courbent à la dorure, & quelquefois même elles ſe fendent. Il faut les amener au marteau fort près de l'épaiſſeur qu'elles doivent avoir ; il ne faut pas ſe ſervir de la pane du marteau, elle corrompt le cuivre.

2447. Les platines ainſi forgées, on percera au centre un petit trou, qui ſervira pour tracer avec le compas la grandeur des platines, & à les diminuer à la lime, preſqu'à

cette grandeur : cela fait, on prendra, pour les tourner, l'arbre représenté (*Pl. XXXVIII fig.* 20); on fera chauffer cet arbre, & on appliquera sur sa base une couche légere de cire d'Espagne; on appliquera l'arbre sur la platine des piliers; on fera chauffer celle-ci par le dessous, ensorte que la cire s'y attache; on mettra l'arbre & sa platine sur le tour, faisant porter la pointe du tour dans le trou de la platine, & en même temps qu'on fait tourner l'arbre, on appuie sur le bord de la platine avec un manche de lime, ce qui dresse son plan : on laisse ensuite refroidir la cire; on tourne d'abord la platine quarrément par le bord, & de la grandeur du calibre; on tourne les deux côtés en rendant sur-tout bien plan le dehors de la plaque, dont on fera le dedans de la platine des piliers; pour cet effet on présentera une regle sur ce plan que l'on rendra parfaitement uni; on fera sur le bord la retraite *a a* (*Pl. XXXVII, fig.* 4) (telle qu'on la voit à la platine *A B* vue par sa coupe & de profil); c'est cette retraite qui s'emboîte sur le bord de la boîte, & qui en recouvre la batte. On tracera au centre de la platine la grandeur de la grande roue moyenne afin d'en faire la noyure; on creusera cette noyure un peu plus grande que la roue, & un peu plus épaisse; car il faut que la roue s'y loge avec du jeu en tous les sens. Pour dresser le fond de cette noyure, on présentera dessus une petite regle, on rendra cette noyure bien unie, ensuite on l'adoucira avec une pierre à eau, & l'on coupera la petite têtine du centre que l'on aura dû réserver pour recevoir la pointe du tour,

2448. La platine *A B* a une seconde noyure *c c*, pour prolonger le tigeron de la grande roue moyenne; mais on ne fait celle-ci qu'après que la platine est tournée des deux côtés; la noyure *d*, pour le gros pivot de fusée, ne se fait non plus qu'en dernier lieu. Pour faire ces sortes de noyures, on se sert d'une espece de foret dont les bouts sont plats, & que l'on centre à l'endroit où on veut faire la noyure; on a pour cela une plaque d'acier *E* (*Pl. XXXVIII fig.* 3) qui porte un canon; on serre le bout *i* de cette plaque avec une tenaille, & on centre le trou au-dessus du trou que l'on doit creuser.

Pour

Pour cet effet, on prend la pointe *D* dont le bout *l* entre juste dans le trou de la plaque *E*; la broche *D* est parfaitement tournée rond & terminée en pointe; on fait poser cette pointe sur le trou que l'on doit creuser, ce qui centre la plaque; on la fixe en ce moment avec une tenaille; le bout *a* du foret qui doit faire la noyure, entre juste dans le trou *h* du canon; ainsi on creuse à volonté: pour régler cette profondeur, & rendre le fond de la noyure fort uni, on place sur le foret une virole *e d* qui s'y attache par une vis de pression *d*; on creuse jusqu'à ce que cette virole porte sur le canon de la plaque d'acier; alors le trou devient très-uni; on se sert encore de ces sortes de forets pour terminer l'extrémité de certains trous en goutte de suie; en ce cas le bout du foret est creusé, comme on le voit en *b* (*fig.* 3). *B b* représente cet arbre tout monté; *f* est le cuivrot pour faire tourner le foret; *B* est le corps du foret; *e d* l'assiette qui regle l'enfoncement de la noyure; *c* est la partie du foret qui doit entrer dans le trou d'une plaque *E*; *b* est la partie du foret qui coupe & forme la noyure ou la goutte de suie: pour former la noyure quarrée, on se sert du foret *A* dont le bout *a* est plat; & pour former en goutte de suie, on se sert du foret *B* dont le bout *b* est creusé.

2449. Le dedans de la platine des piliers ainsi tourné, on l'ôtera de dessus *l'arbre à cire*, & on appliquera le côté tourné sur l'arbre, & l'y attachant avec la cire, comme on a fait pour l'autre côté, on dressera la platine en appuyant avec un manche sur la partie du bord qui a été tournée, afin que les deux côtés tournent parfaitement droit; on tournera le bord *A a* auquel on donnera l'inclinaison approchante de la figure; on creusera la platine de *B* en *B*, de sorte que le fond *e e* soit de demi-ligne; on réservera au milieu l'espece de pont *c c* qui doit avoir la même élévation que la batte *B B*; pour dresser le fond de la platine, on présentera une petite regle afin de rendre ce fond très-droit & uni, & pour en régler l'épaisseur, on se servira d'un 8 de chiffre (478); ensuite on adoucira ce fond avec une pierre à l'eau.

2450. On mettra la petite platine sur l'arbre à cire, & on lui

donnera la grandeur indiquée sur le calibre, & l'épaisseur de demi-ligne, on l'ôtera de dessus l'arbre, & on achevera de la dresser à la pierre à l'eau ; car nous supposons qu'elle doit être tournée de chaque côté parfaitement plane jusqu'au centre, ensorte qu'elle puisse être de même épaisseur par-tout.

2451. On fera la noyure pour le tigeron de la grande roue moyenne, & on la fera assez profonde pour qu'il ne reste en *f* qu'une épaisseur d'un peu moins de demi-ligne ; car ce pivot étant nécessairement gros, n'a pas besoin, relativement à sa pression, de porter sur un trou fort long, il faut que cette épaisseur serve à y former le réservoir pour l'huile : on fera aussi la noyure *d* pour l'arbre de fusée.

2452. On prendra pour faire les piliers, du cuivre bien net que l'on écrouira à plat, pour ne pas le corrompre en le forgeant quarrément, ce qui ne manque presque jamais d'arriver aux pieces forgées de deux côtés ; on tournera ces piliers selon les dimensions indiquées, & selon la figure premiere (*Planche XXXVIII*) ; on donnera la longueur convenable aux pivots supérieurs, pour qu'il reste, outre l'épaisseur de la petite platine, une force suffisante pour y faire le trou de la goupille ; à l'égard des pivots inférieurs, il faut qu'ils aient pour longueur, outre l'épaisseur de la platine, la quantité requise pour la rivure ; on adoucira ces piliers qui seront prêts à river ; mais pour cela il faut percer le calibre sur les platines.

2453. Pour percer le calibre, on appliquera le côté du cadran du calibre contre le dedans de la platine des piliers ; on centrera avec grand soin la platine & le calibre ; pour cet effet, on agrandira le trou du centre de la platine, juste à la grandeur du trou du centre du calibre ; on fera entrer un arbre lisse dans ces trous, ayant attention que l'arbre soit parfaitement droit avec la platine & la plaque du calibre, c'est-à-dire que ces pieces tournent droit, ce qui ne manquera pas d'arriver si les trous sont agrandis bien droit ; si cela n'est pas, on les dressera ; cela fait, on chassera un peu à force l'arbre lisse pour qu'il

tienne également à la plaque & à la platine, on prendra deux tenailles à boucles ou à vis ; on ſerrera les plaques l'une contre l'autre en les pinçant à deux endroits oppoſés des platines, & de ſorte qu'il n'y ait aucun des trous du rouage & des piliers recouverts par les tenailles ; & pour que ces tenailles ne s'impriment pas ſur le bord de la fauſſe plaque de la platine, on mettra ſous chaque tenaille un petit morceau de cuivre qui portera ſur le fond de la platine, & qui ſaillera au dehors de la fauſſe plaque ; cela ainſi préparé, on fera des forets qui ſoient fort juſte de la groſſeur des trous du calibre qui doivent être percés à la platine ; ces trous ſont ceux des piliers, de la roue de fuſée, du barillet, du balancier, des roues de petite moyenne, & de champ, & enfin de la roue de renvoi. On percera ces trous, ayant attention à tenir le foret bien droit, c'eſt-à-dire, perpendiculaire au plan de la platine ; on ôtera le calibre de deſſus la platine des piliers, & on appliquera en place du calibre la petite platine dont on agrandira le trou du centre pour le faire entrer juſte ſur l'arbre liſſe ; on ſerrera les platines avec les tenailles, & ayant attention qu'elles ne prennent que ſur le bord pour ne pas recouvrir les trous : on percera avec les mêmes forets dont on s'eſt ſervi, les trous des piliers des roues & de balancier ; cela fait, & ſans déranger les tenailles qui tiennent les deux platines fixées enſemble, on agrandira les trous des piliers, en tenant l'équarriſſoir bien droit, juſqu'à ce que les petits bouts des piliers ſoient prêts à y entrer ; cette précaution eſt eſſentielle pour monter la cage bien droite, & de ſorte que les roues ſoient parfaitement droites en cage ; c'eſt pour concourir au même but qu'il faut auſſi paſſer un équarriſſoir dans les trous de fuſée & du barillet pour les dreſſer parfaitement ; il faut même les agrandir fort approchant de la groſſeur des pivots ; on en fera autant aux trous des autres roues & du balancier : enfin pour achever de percer le calibre, on ôtera la petite platine de deſſus l'autre, on retirera l'arbre liſſe, on appliquera le calibre ſur la petite platine, & du côté convenable, pour que les trous percés à la petite platine ſe rencontrent ſur ceux du calibre,

& ayant attention que le côté du calibre ſur lequel ſont tracés le rouage & le deſſus, ſoit en dehors ; on centrera avec l'arbre liſſe la platine ſur le calibre; on fera paſſer par le trou du barrillet ou de la fuſée un ſecond arbre liſſe qui entrera également juſte ſur la platine & ſur le calibre, ce qui déterminera la poſition des trous de la platine parfaitement au-deſſus de ceux du calibre; en cet état on fixera enſemble avec deux tenailles la platine & le calibre, & l'on percera ſur la petite platine les trous des vis de la couliſſe, ceux de la roſette, & le trou de la roue de roſette.

2454. Quand les Ouvriers en blanc ont percé le calibre, ils exécutent toutes les pieces qui s'ajuſtent ſur la platine des piliers, afin que la cage étant montée & adoucie, cette platine reſte unie, & qu'il ne ſoit pas beſoin d'y paſſer la lime : on percera donc l'entrée du reſſort de cadran, vis-à-vis de la charniere (*Pl. XXXVII*, *fig.* 5) ; on fera la tête du reſſort telle qu'elle eſt vue dans cette figure, & dont le développement eſt vu (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 18). *A*, eſt la tête qui s'applique ſur le dedans de la platine des piliers ; la partie *a* entre dans l'entrée faite à la platine pour s'y mouvoir en couliſſe ; *B* eſt une plaque d'acier qui ſe fixe avec la tête *A* au moyen d'une vis *b*, & d'un tenon *c* ; c'eſt ſur le bout entaillé *d* que l'on agit avec le doigt pour ouvrir le mouvement ; le reſſort *D* ſe fixe ſur le dehors de la platine des piliers, ainſi que la piece *B* ; le reſſort renvoie la tête ou verrouil *A* ; cet aſſemblage s'appelle un *reſſort à verrouil*; on fera le pont *ff* (*Pl. XXXVII*, *fig.* 4) de la largeur & longueur dont on l'a tracé ſur le calibre, & de la hauteur d'une ligne $\frac{4}{12}$; on en fera les pattes & la traverſe épaiſſe, afin de pouvoir baiſſer ce pont, s'il touchoit au cadran.

2455. Le calibre ainſi percé, le reſſort de cadran fait, &c, il faudra agrandir les trous des piliers de la grande platine, & juſqu'à ce que les pivots inférieurs des piliers y entrent très-juſte : on fera à chaque pilier un repaire pour les raiſons expliquées (476 & 477) ; on accourcira les pivots inférieurs qui auront trop de longueur pour pouvoir être bien rivés ; on achevera d'ajuſter par les mêmes méthodes les pivots

ſupérieurs des piliers dans les trous de la petite platine, & fort juſtes ; on ôtera les rebarbes ; on adoucira le dedans de la grande platine ; on mettra en chanfrein les trous du dehors de cette platine ; on ſe ſervira pour cela d'un foret ; on nettoiera avec ſoin les trous pour qu'il n'y reſte pas de ſaletés ; on accourcira convenablement les pivots de piliers, pour qu'il reſte de quoi les river ; on mettra les piliers en place, & de même de la petite platine ; & on introduira de l'huile pure dans chaque trou de pilier de la grande platine, cela empêche que le mercure ne pouſſe à la dorure ; on rivera à petits coups les piliers en appuyant la cage ſur un *petit tas* (748).

2456. Cette opération doit ſe faire avec précaution, afin de ne courber ni refouler les piliers ; il faut cependant que la rivure ſoit bien rabattue, pour que les piliers ſoient très-ſolides ; on pourroit bien laiſſer l'excédent de la rivure, mais pour plus de propreté, on limera avec une lime recoudée à fleur de la platine, & l'on paſſera une pierre à adoucir, pour ôter les traits qu'auroit fait la lime. On fera paſſer un équarriſſoir dans les trous des piliers de la petite platine, pour qu'elle entre juſte & librement deſſus, & la cage ſera *montée*: il ne reſtera qu'à percer les trous de goupille ; ce que l'on fera, & bien à fleur de la platine, ayant attention à diriger le foret de ſorte que les goupilles ne paſſent ſous aucune piece de deſſus.

2457. La cage ainſi montée, il faudra faire les roues du mouvement. On choiſira du cuivre bien net que l'on écrouira uniquement avec la tête du marteau ; car la méthode de forger avec la *pane* eſt défectueuſe en ce qu'un coup mal appliqué eſt capable de corrompre & déſunir les parties du cuivre. Pour faire la roue de fuſée, il ne faut pas prendre du cuivre qui n'ait que le double de l'épaiſſeur que la roue doit avoir ; car cette roue doit avoir une têtine au centre, ſaillante au-deſſus du plan de la roue de $\frac{4}{12}$ de ligne : on prendra donc pour cette roue du cuivre de 2 lig. d'épaiſſeur que l'on réduira au marteau à $\frac{9}{12}$ ligne : on prendra la roue de grande moyenne dans une plaque qui ait $\frac{10}{12}$ ligne d'épaiſſeur ; on prendra la roue de petite moyenne dans la même plaque ; la roue de champ ſera

prife dans une plaque qui ait 1 ligne $\frac{4}{12}$ ligne, pour être réduite au marteau à $\frac{10}{12}$ de ligne; on coupera la roue de rofette, & les roues de *minuteries* ou de cadran dans du cuivre qui ait $\frac{6}{12}$ ligne d'épaiffeur; on coupera le cuivre pour faire le balancier, afin de le forger, & tourner en même temps que les roues; il devra avoir, étant fini, $\frac{3}{12}$ d'épaiffeur; & pour le rendre tres-dur, on le prendra dans du cuivre quatre fois plus épais, fi c'eft du cuivre de chaudiere, comme je le fuppofe ici, ainfi que pour toutes les roues de la montre.

2458. Les roues coupées & forgées, on les percera au centre, de trous convenables pour être rivés fur leurs pignons, & plus petits qu'il ne faut; ainfi on fera le trou de la roue de fufée $\frac{8}{12}$ de ligne de diametre, celui de la grande roue moyenne $\frac{9}{12}$, celui de petite moyenne & de champ $\frac{5}{12}$, du balancier $\frac{4}{12}$, & des roues de cadran $\frac{9}{12}$; ces trous devront avoir cette grandeur lorfqu'on les aura agrandis avec foin, & rendus bien droits & ronds. Si les roues font beaucoup plus grandes qu'elles ne font marquées fur le calibre, on donnera fur celles qui feront dans le cas, un trait de compas un peu plus grand que la roue ne doit être, & on limera cet excédent.

2459. Pour tourner les roues on les chaffera à force fur les arbres liffes tournés parfaitement ronds : on aura attention en chaffant l'arbre, que la roue tourne bien droit; on les tournera ainfi de la grandeur tracée fur le calibre, & de l'épaiffeur indiquée (2436 *& fuiv.*); on aura foin que ces roues foient bien tournées planes des deux côtés, & jufqu'au centre, afin de n'avoir pas à les limer pour les amincir, ce qui les rendroit inégales d'épaiffeur; on réfervera au centre de la roue de fufée une têtine qui aura trois lignes de diametre; on attendra pour mettre cette têtine en goutte de fuie, que la roue foit fendue. Pour tourner la roue de champ, on la chaffera auffi fur un arbre liffe; on aura foin, lorfqu'on la creufera, de n'approcher pas tout contre l'arbre liffe, mais de laiffer un petit canon pour foutenir la roue fur l'arbre, jufqu'au moment où elle fera entiérement creufée; il faut tenir ce fond épais, afin que les croifées ne puiffent ni fléchir ni fe courber,

ce qui dérangeroit l'engrenage ; pour juger de l'épaisseur du fond de la roue, on prendra un compas d'épaisseur ; la roue ainsi tournée, on emportera au burin le petit canon que l'on avoit réservé au centre de la roue.

2460. Les roues ainsi tournées, on les fendra avec les précautions indiquées (431, 780 *& suiv.*), & aux nombres de dents marqués sur le calibre : on croisera la roue de grande moyenne, la petite moyenne & celle de champ : pour que ces croisées soient solides, il faut les faire à quatre barrettes, comme dans la figure 5, (*Pl. XXXVII*).

2461. Les roues fendues & croisées, on fera le pignon de longue tige : pour cet effet, on arrondira quelques dents de la roue de fusée, & avec un calibre à pignon, on prendra la mesure du pignon : or ce pignon doit être de 12 ; ainsi on prendra avec le calibre 5 dents sur les pointes un peu fortes (528) ; on choisira de l'acier tiré pour un pignon de 12 qui soit de cette grosseur & de longueur convenable pour la hauteur de la cage & pour la tige qui porte la chaussée ; on ébauchera & tournera ce pignon ; on levera la portée pour y river la roue ; & on laissera les dents un peu plus longues que pour l'épaisseur de la roue, (*fig.* 4, *Planche XXXVII*) ; on efflanquera & arrondira le pignon selon les méthodes des articles 870 & suivants ; le pignon ainsi fait, on le trempera & on le fera revenir (888), on le dressera par ses pointes (890 & 891), on tournera les tiges bien rondes, & l'on polira le pignon.

2462. Le pignon ainsi trempé, tourné & poli, on rivera la roue selon les méthodes indiquées 885, 886 & 897.

2463. Pour mettre en cage la roue de longue tige, on levera d'abord le gros pivot qui devra avoir $\frac{5}{12}$; on agrandira avec soin le trou du centre de la grande platine, de sorte que le pivot y entre fort juste lorsqu'il sera adouci, & on reculera la portée jusqu'à ce que la roue approche du fond de la noyure, de maniere à ne pouvoir y toucher, c'est-à-dire, qu'il y ait un bon *jour* ; on dressera la portée avec une lime de fer & de la pierre à huile, & pour la polir, ainsi que le pivot, on prendra de la potée d'étain, & une lime de cuivre.

Pour lever l'autre pivot, on aſſemblera les platines; on mettra deux goupilles ; & avec le maître-danſe on prendra la meſure de la hauteur de la cage, depuis la noyure faite pour le tigeron de grande moyenne juſqu'à la petite platine ; on tournera le pivot ſelon cette hauteur ; on lui donnera $\frac{3}{12}$ de ligne de diametre, la longueur à proportion ; on le tournera en l'air (903) avec la lime à pivot, on le polira ſelon les méthodes indiquées. Comme le trou du centre de la petite platine a été agrandi plus qu'il ne falloit pour la groſſeur de ce pivot, on le rebouchera ; pour cet effet, on l'agrandira encore, & on le taraudera ; on prendra une tige de laiton de chaudiere bien écroui & rendu rond ; on percera ſur le tour un petit trou pour le petit pivot de grande moyenne ; on tournera le bout de ce bouchon en le faiſant rouler ſur la pointe du tour ; on lui donnera la groſſeur propre pour être taraudé ſur le trou de la filiere qui a ſervi à tarauder le trou de la petite platine ; on coupera au burin ce bouchon de la longueur convenable ; on ébiſelera le trou de la petite platine, & on rivera le bouchon ; on agrandira le trou, & la grande noyure ſera miſe en cage.

2464. On ébauchera l'arbre de fuſée auquel on donnera la forme repréſentée (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 4) ; la tige doit avoir une ligne de diametre, le crochet $\frac{2}{12}$ d'épaiſſeur, la grandeur de la plaque $3\frac{1}{2}$ ligne, & le crochet ſaillant de 1 ligne ; on percera le trou *d* pour la vis ; on trempera cet arbre, & on le fera revenir bleu, & on le tournera avec ſoin ; on levera le pivot *b* (*fig.* 4), on lui donnera pour diametre $\frac{7}{12}$ ligne, pour reculer la portée convenablement ; on aſſemblera la cage, & on prendra la hauteur depuis la noyure faite pour la fuſée, juſqu'à la petite platine ; on portera un bras du maître-danſe contre le crochet *c*, avec un jour convenable pour ne pas toucher à la platine, & avec l'autre on marquera l'endroit de la portée ; on la tiendra un peu plus haute, afin de pouvoir encore la reculer lorſque l'on mettra l'arbre dans la cage, pour que le crochet de fuſée approche près de la petite platine, & ſans pouvoir y toucher ; on agrandira

dira le trou de la petite platine pour le passage du tigeron *c* de fusée qui ne doit faire qu'y entrer juste ; on levera le pivot supérieur *e* qui sera élevé d'une ligne au dessus de la petite platine ; la grosseur de ce pivot * sera d'$\frac{1}{2}$ ligne ; on fera le pont de fusée, on percera le trou du pivot, & on posera ce pont en l'attachant avec une forte vis ; on agrandira un peu le trou de la vis, afin de fixer le pont, de maniere que l'arbre de fusée reste droit en cage ; dans ce moment on percera les trous des pieds, & on les fixera, comme il est dit (958) ; l'arbre de fusée mis en cage, on fera la fusée.

2465. Pour faire la fusée, on se réglera sur la grandeur que l'on en a tracée sur le calibre, laquelle représente la base ; le diametre du sommet de la fusée sera de 3 lig. $\frac{8}{12}$ de ligne. On prendra pour faire la fusée, du laiton bien net & plus épais que le vuide de la cage, afin de le bien écrouir, & qu'il ne fasse qu'entrer dans la cage ; on percera le trou de la fusée en se réglant sur la grosseur de l'arbre ; on rendra ce trou bien net & on l'agrandira, ensorte qu'il ne fasse que commencer à entrer sur l'arbre ; on tournera la fusée à-peu-près de la forme représentée en *E* (*Pl. XXXVII*, *fig.* 4), & toujours en la conservant plus haute qu'il n'est besoin, afin de pouvoir en ôter après : on diminuera l'arbre au burin avec soin, & jusqu'à ce qu'étant bien adouci, il entre très-juste sur la fusée, on fera l'ajustement tel qu'il est expliqué (art. 2421).

2466. La fusée ainsi montée sur son arbre, on la tournera dessus & bien droite de la base, on achevera de tourner & adoucir le côté de la roue de fusée qui doit s'appliquer contre la fusée ; on tournera aussi cette roue de l'autre côté, afin qu'il n'y ait plus à ôter de son épaisseur ; on fera la creusure pour loger la goutte qui doit assembler la roue avec la fusée ; alors on agrandira le trou de la roue, de sorte qu'il entre très-juste sur l'arbre, & que la roue s'applique sur la base de la fusée ; en cet état, on présentera la roue ainsi montée en cage ; si cette roue touche à la platine, on reculera de la base, &

* Sur l'exécution des pivots il faut consulter les art. 903, 904, 936, 937, 938, 939 & 940.

jusqu'à ce qu'entre la roue & la platine il y ait un jour convenable pour n'y pouvoir toucher. Si la grande roue moyenne est un peu plus élevée que le dedans de la grande platine, il faudra encore reculer la fusée. On fera la goutte d'acier *F* (*Pl. XXXVIII, fig.* 7); on creusera le dessous de la base de la fusée pour y loger l'encliquetage; on exécutera cet encliquetage.

2467. La virole & le fond de barillet *C C* (*fig.* 2) d'une montre est formée d'une seule piece de cuivre qui est creusée & figurée, comme on voit. Pour faire un barillet il faut donc prendre du cuivre qui étant bien écroui, ait, pour épaisseur, la hauteur que doit avoir le barillet; on chasse ce cuivre sur un arbre lisse de la grosseur que doit avoir le pivot qui doit rouler dans le barillet; ce pivot sera de $\frac{2}{12}$ ligne; on tourne d'abord le barillet à-peu-près d'épaisseur & de la grandeur tracée sur le calibre; on réserve en *h* un rebord à-peu-près de la hauteur de la chaîne; ce rebord est tracé sur le calibre; le petit cercle désigne le vrai diametre du dehors du barillet, & le grand, le rebord pour la chaîne; on creuse le dedans d'abord avec un burin ordinaire, & ensuite avec un burin à crochet; on se sert de celui-ci pour unir le fond; le dedans étant ébauché, on tourne le dehors selon la grandeur requise; on donne au fond l'épaisseur convenable que l'on mesure avec un compas d'épaisseur; ce fond, pour être solide, doit avoir $\frac{2}{12}$ ligne, & le cercle $\frac{3}{12}$ ligne; on réservera au centre du fond la virole *g g*; cette têtine doit avoir un peu moins que le diametre de l'arbre de barillet, c'est-à-dire, un tiers du diametre du barillet, elle doit être épaisse de $\frac{4}{12}$ ligne; on fera le drageoir (814) pour le couvercle; on fera le couvercle dont l'épaisseur sera de $\frac{2}{12}$, la têtine de même grandeur & épaisseur que celle du barillet; on fera entrer le couvercle bien à force dans le drageoir, on fera une entaille au couvercle pour pouvoir l'ôter.

2468. On fera l'arbre de barillet; on prendra, pour cela, de l'acier qui ait pour grosseur le tiers du diametre intérieur du barillet; on prendra la mesure pour la longueur de la tête,

comme on l'a expliqué (818); on ébauchera ainsi l'arbre de barillet, laissant les tiges plus grosses que le trou du barillet; on percera, à travers la tête, un trou pour pouvoir y chasser le crochet pour le ressort; l'arbre ainsi ébauché, on le trempera, & on le fera revenir; on le tournera, & on mettra les portées à la mesure prise pour la hauteur du dedans; on finira les pivots *b*, *c*, qui doivent rouler dans le barillet; on agrandira les trous du couvercle & du barillet pour les faire entrer fort juste, & libres sur les pivots de l'arbre. Le barillet ainsi monté, on levera les pivots *d*, *e* de l'arbre, afin de le mettre en cage: pour cet effet, on prendra la hauteur de la cage avec le maître-danse; on levera la portée pour le pivot *e* que l'on tiendra aussi gros qu'il se pourra, afin d'avoir un bon quarré; cette portée doit être distante du barillet, de sorte que celui-ci étant en cage, il ne puisse toucher aux platines.

2469. L'arbre ainsi mis en cage, on pourra faire tout de suite le quarré selon la méthode indiquée (832 & 833); & on étampera le trou du rochet selon le n°. 834. Ce rochet doit être d'acier, les dents inclinées, comme on le voit (*Pl. XXXVII*, *fig.* 7): on fera le cliquet & la vis; on posera le cliquet comme il est vu dans la figure.

2470. Le barillet étant fini, on fera la potence: pour cet effet, il faut tracer sur le dedans de la petite platine (*Pl. XXXVII*, *fig.* 6) un cercle *D* qui représente le barillet; ce cercle régle le derriere de la potence *O*; pour tracer le devant de la potence, on tirera du centre *l* de la roue de champ ponctuée *m*, un trait qui ira au centre du balancier; on tirera du centre du balancier une ligne *f e* qui soit perpendiculaire à la premiere; on réservera en *f* la place du talon de potence; on continuera la potence jusqu'en *h*, afin de garantir la roue de rencontre, dans le cas où la chaîne viendroit à casser; la place de la potence tracée, on prendra du cuivre épais que l'on écrouira jusqu'à ce qu'il soit prêt à entrer dans la cage; il faut que la potence soit assez épaisse à l'endroit du talon *f*, pour aller toucher au fond de la noyure de la grande moyenne lorsque la petite platine est posée sur la grande; on

limera bien plan la base & le dessus ; on entaillera le derriere *O* de la potence pour la place de la vis qui doit l'attacher à la platine ; on fera cette vis *t*, & on posera la potence ; on placera deux pieds avec soin, & aussi distants entr'eux qu'il se pourra : la potence posée, on assemblera la cage ; on mettra deux goupilles, & par le trou fait à la grande platine pour le balancier, on percera un trou à la potence qui sera celui du talon dans lequel doit rouler le pivot d'enbas du balancier ; on aura soin, en perçant ce trou, de tenir le foret bien droit; cela fait, on baissera la potence jusqu'à ce que la roue de grande moyenne étant en cage, elle n'y touche pas ; on baissera encore la potence de $\frac{1}{12}$ pour la place de la plaque d'acier sur laquelle doit rouler le pivot de balancier : la potence mise de hauteur, on réservera le talon *f*, & on reculera le plan *f e*, jusqu'à ce qu'il passe par le centre de la verge, ayant attention que ce plan demeure perpendiculaire à la ligne tracée du centre de la roue de champ à celle de rencontre : cela fait, on formera la rainure *d d* (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 9) ; le fond de cette rainure doit être parallele audevant de la potence, & les côtés de la même rainure *d d* doivent être paralleles à la base de la potence ; cette rainure doit être profonde de $\frac{7}{12}$ de ligne, sa largeur peut être de 1 ligne $\frac{1}{4}$: on fera le lardon de potence ; on prendra, pour cela, du cuivre dont l'épaisseur soit double de la profondeur de la rainure ; on figure le lardon comme on le voit en *D* (*fig.* 9) ; la partie *m* doit être entaillée par derriere, jusqu'au centre de la verge, & même plus, pour que la verge de balancier ne puisse y toucher ; il faudra même entailler davantage à cause de l'épaisseur de la plaque d'acier qui doit recouvrir le trou de la roue de rencontre ; le trou de la roue de rencontre ne se fait pas actuellement ; il faut s'en figurer la place, afin de ne pas faire le coude *p* trop distant de ce trou, car il faut que le nez de potence entre dans la roue de rencontre ; la base du lardon doit être fort plane, & les côtés parfaitement paralleles, & de largeur à entrer très-juste dans la rainure de la potence : le lardon ainsi ajusté, on fera la vis qui doit l'assembler avec

la potence ; ensuite on fera la vis de rappel *g* (*fig*. 9, & l'entaille au lardon *D* ; on fera la contre-potence *I* (*fig*. 10) que l'on placera comme on le voit en *o n* (*Pl. XXXVII*, *fig*. 6).

2471. On marquera la place du garde-chaîne: pour cet effet, on tirera la lig. *S* (*Pl. XXXVII, fig*. 6) qui représente la chaîne; on placera le *plot* assez en dehors de la platine, pour que l'appui de la chaîne ne l'approche pas trop près: la position du plot *Q* détermine la longueur du garde-chaîne *R*, car lorsque le crochet de fusée arcboute contre le bout *b*, la ligne qui passe par le milieu *b a* du garde-chaîne doit être perpendiculaire au devant du crochet de fusée, supposé dirigé au centre, ainsi que cela doit être ; on rivera le plot sur le dedans de la petite platine (*fig*. 6), on fera la fente pour le garde-chaîne, & l'on exécutera le garde-chaîne tel qu'il est vu en perspective (*Planche XXXVIII*, *fig*. 8) ; on percera le plot & le garde-chaîne d'un trou pour la goupille ; le mouvement du garde-chaîne autour de son centre doit être fort petit; il faut simplement qu'il puisse approcher tout contre la platine (*Pl. XXXVII, fig*. 6): c'est dans le moment que le crochet de fusée arcboute, & que cela empêche de remonter la montre plus haut, & il faut que le garde-chaîne puisse s'écarter de la platine, afin de laisser passer entre la platine & lui le crochet de fusée : ce chemin du garde-chaîne dépend de la maniere dont on entaille le bas de la plaque qui entre dans le plot ; elle ne doit l'être que pour permettre le chemin susdit ; car lorsque ce chemin est trop grand, le bout *b* va toucher à la fusée : on fera le ressort *V* dont l'effet est de tenir le garde-chaîne écarté de la platine pendant tout le temps que la chaîne cesse de le presser.

2472. Pour achever d'exécuter les pieces portées par la petite platine, on fera le dessus, c'est-à-dire, la coulisserie, la rosette & le coq ; on commencera par la coulisse dont les dimensions sont tracées sur le calibre ; l'épaisseur de la coulisse étant finie, doit être de $\frac{4}{12}$ de ligne ; on prendra du cuivre deux fois plus épais, afin qu'en l'amincissant au marteau, il soit très-dur. Pour former la coulisse, il faut prendre du cuivre comme pour faire une roue qui auroit pour rayon la

diſtance d'une des pattes *P* (*Planche XXXVII*, *fig.* 8) au centre *d* du balancier; on la figure après qu'elle eſt tournée; de même pour faire le rateau, il faut d'abord faire une roue qui ait pour rayon *E d*; on coupera donc la couliſſe, & le rateau en conſéquence; la couliſſe coupée & écrouie, on la dreſſera à la lime des deux côtés; on percera un petit trou; au centre de ce trou, on tracera pluſieurs cercles concentriques; le plus grand repréſentera le bord extérieur *e f* qui eſt la grandeur même du balancier; on tracera un ſecond cercle *g* qui repréſentera la grandeur du rateau, & enfin un troiſieme cercle qui repréſentera le bord intérieur de la couliſſe; cela fait, on appliquera cette plaque ſur un arbre à cire; le côté tracé étant en dehors, on dreſſera cette plaque ſur le tour, pendant que la cire eſt chaude; enſuite on creuſera avec des échoppes la rainure pour y loger le rateau, ainſi que cela eſt vu en *G G* (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 14); on réſervera le filet *b* qui doit entrer dans la rainure du rateau; c'eſt proprement ce filet qui forme la couliſſe, ainſi c'eſt de ſa perfection que dépend la bonté de la couliſſerie, partie d'une aſſez difficile exécution; ce filet doit être coupé très-net & quarrément en tout ſens; la profondeur de la rainure doit être telle qu'il reſte une épaiſſeur de $\frac{1}{12}$ de ligne au fond; on dreſſera les deux côtés de la couliſſe au burin, enſorte qu'elle ſoit parfaitement plane: ſi elle avoit plus que l'épaiſſeur indiquée, il faudroit l'amincir ſur le tour, car on court riſque en en ôtant à la lime de la rendre inégale d'épaiſſeur, défaut eſſentiel qu'il faut éviter; on adoucira avec ſoin la rainure, mais pour le mieux, ce doit être à la coupe du burin à terminer le fond; cela fait, on coupera tout-à-fait la couliſſe par l'endroit où on avoit tracé le cercle intérieur. On mettra la plaque qui doit ſervir à former le rateau ſur un arbre à vis, dont le pivot ait $\frac{1}{12}$ de ligne de diametre; on tournera les côtés bien plans, & enſuite le bord juſqu'à ce qu'il entre fort juſte dans la rainure de la couliſſe; alors on mettra ſur le filet de la couliſſe du noir, ou pierre à huile; on fera rouler le rateau dans la rainure de la couliſſe, enſorte que le filet marquera ſur le rateau l'endroit

où il frotte : par cette marque on fera la rainure au rateau avec une échoppe bien quarrée ; on ne fera pas cette rainure bien profonde, on attendra pour cela que l'on ait coupé la couliſſe en un endroit ; par ce moyen on verra comment le rateau s'applique ſur la rainure de la couliſſe ; on achevera ainſi de tourner la rainure du rateau, jusqu'à ce que le filet de la couliſſe entre parfaitement dans la rainure du rateau, & que le plan du rateau touche au fond de la rainure de la couliſſe ; cela fait, on amincira le rateau juſqu'à ce qu'il ne déborde pas le deſſous de la couliſſe, mais qu'il paroiſſe ne former qu'un même plan avec elle ; on tournera ainſi le deſſous du rateau juſqu'au centre; on l'ôtera de deſſus ſon arbre ; on agrandira le trou du balancier fait à la petite platine, juſqu'à ce qu'il ait la même grandeur que le trou du rateau ; on appliquera le rateau ſur le dehors de la petite platine, faiſant paſſer par le trou du balancier & par celui du rateau un arbre liſſe qui les tienne aſſemblés ; en cet état, on appliquera la couliſſe ſur le rateau, ce qui la centrera avec le trou du balancier fait à la platine ; on ſerrera la couliſſe avec des tenailles, ſur la platine, & alors on percera par les trous faits à la platine pour les vis de couliſſe des trous à cette couliſſe ; on agrandira ces trous l'un ſur l'autre ; on démontera le tout ; on taraudera les trous de la platine ; on fera les vis, & la couliſſe ſera poſée.

2473. La couliſſe étant poſée, on la découpera ſelon la figure tracée ſur le calibre ; pour cet effet, lorſqu'elle eſt attachée à la platine, on tracera du centre *d* (*Pl. XXXVII, fig.* 8) un trait de la grandeur du balancier ; c'eſt par ce trait que l'on doit limer l'extérieur *e f*, & l'on ne doit reculer les entailles *D D* pour le paſſage de la cheville de renverſement que par la moitié de la circonférence ; on ne porte ces entailles en *p* & *q* que lorſque l'échappement ſera fini, & pour le mieux il ne faut commencer ces entailles qu'alors.

2474. La couliſſe & le rateau étant faits & poſés, on fera la roue de roſette ; on la tiendra de la grandeur marquée ſur le calibre (plutôt plus que moins), & on lui donnera la

même épaiſſeur qu'au rateau ; on fendra cette roue au nombre de 24 dents, & on la rivera ſur un petit arbre *q s r* (*fig.* 12); cet arbre eſt d'acier trempé, & pris au bout d'une tige de la groſſeur *s* de l'aſſiette ; on leve d'abord le pivot *r*, & enſuite une portée pour y river la roue ; on leve une petite tige au deſſus de l'aſſiette *s* ; l'épaiſſeur doit être celle du fond de la rainure de la couliſſe, par la raiſon que la roſette doit être de même épaiſſeur que la couliſſe, & que cette aſſiette ne doit pas déborder la roſette ; la tige *q* doit ſervir à former le quarré pour recevoir l'aiguille de roſette ; ainſi la groſſeur de ce quarré doit être la même que celui de la fuſée, afin que la même clef ſerve aux deux quarrés ; on rivera la roue ſur ſon arbre, ſans que celui-ci ſoit encore ſéparé de ſa tige, afin d'avoir la facilité de retourner la roue ſi on la laiſſe trop grande pour ſon engrenage avec le rateau.

2475. Pour trouver le nombre ſur lequel on doit fendre le rateau, pour que ſes dents ſoient parfaitement de groſſeur convenable pour ſon engrenage avec la roue de roſette, on fera la proportion: Le diametre (ou rayon) de la roue de roſette eſt au diametre du rateau, comme le nombre de dents de la roue de roſette eſt au nombre cherché pour le rateau : ici la roſette a 2 lignes $\frac{1}{2}$ de rayon $= \frac{30}{12}$ de ligne, & le rateau a 4 lignes $\frac{1}{4}$ $= \frac{51}{12}$; on a donc 30 : 51 : : 24 : x : on trouve pour 4ᵉ terme le nombre 40 qui exprime le nombre de dents que doit avoir le rateau pour faire engrenage avec la roue ; mais comme c'eſt la roue de roſette qui mene, elle devra avoir les dents plus groſſes ; on fendra donc le rateau ſur le nombre 42.

2476. Le rateau étant fendu, on en arrondira les dents qu'il faut conſerver pleines, afin que l'engrenage ſe faſſe très-juſte & ſans le moindre jeu. On arrondira de même la roue de roſette, & pour juger à-peu-près de la force de l'engrenage, on fera rouler le centre du rateau ſur l'arbre liſſe mis dans le trou du balancier fait à la petite platine : ſi la roue eſt trop grande, on la diminuera ſur le tour, on l'arrondira de nouveau ; mais on attendra d'achever l'engrenage, que l'on ait préſenté la couliſſe, le rateau & la roue de roſette en place;

or pour cela, il faut entailler la couliſſe *D D* (*fig.* 13), de ſorte que la roue de roſette puiſſe s'y loger pour aller atteindre le rateau ; cette entaille *T T* de la couliſſe doit être faite ſelon ſon épaiſſeur, afin de ne pas trop affoiblir la couliſſe, & le fond ſert d'ailleurs à recouvrir la roue.

2477. Pour pouvoir examiner & terminer l'engrenage de la roue de roſette avec le rateau, on peut faire une fenêtre à la couliſſe, comme on le voit en *E K* dans la figure 8 (*Planche XXXVII*) ; mais cette fenêtre affoiblit la couliſſe, ainſi il vaut mieux la pratiquer à la platine au-deſſous du point de contact de la roue & du rateau ; l'engrenage étant fini, on ſéparera l'arbre de roue de roſette, de la tige d'où on l'a pris.

2478. Pour achever ce qui concerne la couliſſerie, on fera la roſette. On prend pour cela, une plaque d'argent que l'on creuſe en-deſſous, comme on le voit en *L L* (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 12) ; enſuite on la poſe ſur la roue appliquée ſur la platine, ce qui ſert à centrer la roſette ; on perce par les trous faits à la platine, les trous aux pattes de la roſette ; on fait deux vis, & la roſette eſt poſée : on fait enſuite la coupe ou ſection *g g* qui eſt une portion de cercle tracée du centre du balancier percé à la petite platine ; cette ſection doit, pour la propreté, être parfaitement jointe au bord de la couliſſe, & le plan de la roſette & de la couliſſe doivent ſe confondre, c'eſt-à-dire, que la couliſſe & la roſette ſont de même épaiſſeur, & bien planes ; on fera le quarré pour l'aiguille de roſette, & on ajuſtera deſſus cette aiguille qui doit être d'acier, & avoir la forme *N* (*fig.* 12).

2479. L'aiguille de roſette étant faite, & l'engrenage achevé, on remontera la couliſſerie, la roſette & l'aiguille, afin de marquer la longueur que doit avoir le rateau, & le découper en conſéquence; pour cet effet, on conduira l'aiguille de roſette *n o* (*Pl. XXXVII. fig.* 8) à l'extrémité *o* de la roſette; on marquera un point *s* ſur le rateau qui ſoit en dehors du point de contact de l'engrenage *E K* d'environ deux dents, afin que l'aiguille étant conduite à ce point, l'engrenage ſe faſſe bien en plein;

on amenera l'aiguille de rosette à l'autre extrémité 32 de la rosette, & l'on marquera avec les mêmes précautions le point *a* du rateau, ces deux points *a* & *s* déterminent sa longueur; on conduira de nouveau l'aiguille à l'extrémité *o*, & l'on marquera sur la coulisse le point *g* correspondant à *a*; ce point *g* doit être un peu en dehors de *a*; il marquera l'endroit où il faut couper la coulisse pour qu'elle recouvre toujours le rateau lorsqu'il est parvenu en *a*; on ramenera l'aiguille à l'extrémité 32, & on marquera vis-à-vis de *s* le point *h* de la coulisse qui doit être un peu en dehors du bout du rateau. Avant de démonter la coulisserie pour la couper selon ces dimensions, on marquera un repaire (ce repaire doit se marquer au milieu de la longueur du rateau; or pour cela, il faut conduire l'aiguille au chiffre 15 de la rosette) de la roue de rosette avec le rateau, afin que l'on puisse toujours les remonter sans tâtonner le point de l'engrenage, qui soit tel, que lorsque l'aiguille de rosette est en zéro ou 32, l'engrenage se fasse aux extrémités du rateau; on réservera à l'extrémité *a* du rateau le bras qui doit porter les chevilles pour le spiral; par ce moyen on placera le piton en dehors de la coulisse, ce qui est préférable; & d'ailleurs par cette disposition ce bras *a* du rateau ne pourra jamais atteindre aucun trou de pivots, & par conséquent en emporter l'huile, ainsi que cela arrive communément.

2480. Pour faire le coq (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 15), on se réglera pour la hauteur sur l'épaisseur de la coulisse, sur l'épaisseur du balancier & sur les jours qu'il doit y avoir entre la coulisse & le balancier, & entre celui-ci & le coq: or la coulisse a $\frac{4}{12}$ de lig. d'épaisseur, le balancier étant de cuivre aura $\frac{3}{12}$ d'épaisseur, & il faudra $\frac{3}{12}$ pour les jours du balancier; donc le dessous du coq sera élevé de $\frac{10}{12}$ de lig. au-dessus de la platine; il doit avoir $\frac{2}{12}$ de ligne d'épaisseur; ainsi le cuivre pour le coq étant forgé & dressé, devra avoir près d'une ligne d'épaisseur; sa grandeur est déterminée par le calibre; le balancier a 10 lignes de diametre, & il faut réserver en outre une ligne $\frac{1}{2}$ pour les pattes *P P*: il est même nécessaire de réser-

ver les pieds plus longs, afin de s'en servir pour attacher le coq sur la platine avec des tenailles pendant que l'on perce les trous 1, 2 pour les vis : on mettra le coq sur un arbre ; on le tournera bien plan des deux côtés, & de l'épaisseur donnée ; on fera la creusure pour le balancier, c'est 10 lignes de diametre ; cette creusure sera plutôt faite au burin qu'à la lime, & le coq en sera mieux fait ; on creusera le coq de sorte qu'il ne reste que $\frac{3}{12}$ de ligne d'épaisseur au fond : on dressera ce fond avec beaucoup de soin, afin qu'il soit parfaitement de même épaisseur ; on figurera ensuite le coq, comme on le voit (*fig.* 15), à l'exception des pieds que l'on ne formera qu'après qu'on aura posé le coq.

2481. Pour poser le coq, on tirera sur la platine une ligne qui marquera la direction des pieds ; cette ligne doit être, comme je l'ai dit, perpendiculaire à la ligne qui passe du centre de la rosette à celui du balancier ; on placera donc le coq selon cette direction ; mais pour le centrer parfaitement avec le trou du balancier fait à la petite platine, on se sert d'une tige bien tournée sur laquelle est fixée une plaque tournée avec soin ; on fait entrer la tige *a* de l'outil vu (*fig.* 21) dans le trou de la petite platine, & on fait *plaquer* très-exactement la plaque *c c* portée par la tige sur la platine ; on fait pareillement entrer le trou du coq sur la tige prolongée *b* au-dessus de la plaque ; alors on pince les pieds du coq & la platine avec des tenailles, & on perce à la platine les trous pour les vis du coq.

2482. On exécutera le coqueret de cuivre *Q* (*fig.* 16), on l'attachera sur le coq avec les deux tenons 1, 2, & une vis, on ne fera l'entaille *s* qu'en finissant la montre, on marquera le trou de ce coqueret avec un foret qui entre juste dans le trou du coq, on percera ensuite ce coqueret avec un plus petit foret : on fera la plaque d'acier *R*.

2483. Le dessus étant achevé, on pourra faire les minuteries ou roues de cadran. Pour cet effet, on mettra la roue de longue tige en cage, on goupillera les piliers, on fera une marque à la tige pour désigner l'endroit où il faut former

la portée de la tige qui doit recevoir la chaussée *u z* (*fig.* 7, *Pl. XXXVII*); cette portée doit être distante du sommet du pont *c c* réservé au centre de la platine d'environ $\frac{2}{12}$ de lig. afin que l'huile du pivot de longue tige ne puisse être attirée par la chaussée : on ôtera la roue de la cage, & on tournera le pivot de la chaussée qui aura $\frac{4}{12}$, afin que la portée soit de bonne largeur, & propre à arrêter la chaussée sans équivoque ; ce pivot ou tige de la chaussée étant bien tourné, on prendra pour faire la chaussée, de l'acier tiré à pignon de 10, on en coupera un bout de la longueur requise pour que la tige le *déborde*, comme on voit (*fig.* 7), & l'on choisira l'acier de la grosseur convenable ; on arrondira, pour cet effet, quelques dents de la roue de renvoi fendue sur 30 ; & avec le calibre à pignon, on prendra, comme il est dit (529), 4 dents pleines ; & comme ici c'est le pignon qui mene, on le choisira un peu plus gros ; on prendra 4 dents $\frac{1}{2}$; on marquera à chaque bout de l'acier coupé, un point qui soit bien concentrique ; alors on ébauchera la chaussée à la lime, réservant à un bout l'épaisseur convenable pour le pignon *u* qui doit être un peu plus épais que la roue de renvoi, & on le percera sur le tour, selon la méthode prescrite (910) ; on fera, pour cet effet, un foret un peu plus petit que le bout de la tige : le trou percé, on l'agrandira, selon l'art. (911) ; & selon le n°. (912), on le dressera si le trou n'est pas percé droit : cela étant fait, on le tournera, & on lui donnera la grosseur du pivot de fusée, sur lequel doit être formé le quarré pour remonter la montre, afin que la même clef serve à tous les quarrés ; on tournera le pignon de grosseur & d'épaisseur ; on réservera au fond des ailes du côté de la chaussée une portée propre à recevoir la roue de cadran, afin qu'elle ne frotte pas contre les ailes du pignon, défaut très-commun, parce que les Ouvriers croyant rendre leurs pignons de plus belle apparence ; font une creusure au fond des ailes : on finira les ailes du pignon, on adoucira les faces, la chaussée & le pignon même. On fera le canon de la roue de cadran ; on percera le trou plus petit que la chaussée, afin de ne le faire entrer

deſſus fort juſte, qu'après qu'on en a agrandi le trou, que le canon eſt tourné, & la roue rivée ; alors on acheve de le faire entrer ſur la chauſſée ; mais ſi celle-ci n'a pas la figure de l'équarriſſoir qui a ſervi à faire le trou du canon de roue de cadran, on tournera légerement la chauſſée pour que le canon de cadran y entre ſans balotage, ni d'un bout ni de l'autre ; on la fait enſuite tourner librement.

2484. La roue de cadran ainſi ajuſtée, on mettra la roue de longue tige en cage, on placera la chauſſée ſur la tige, & la roue de cadran ſur la chauſſée ; alors on prendra la meſure pour la longueur du pignon de renvoi : pour cet effet, on choiſira de l'acier de groſſeur convenable ; ce pignon étant de 8, & menant la roue, on prendra près de 4 dents ſur les pointes ; on coupera un bout de cet acier qui aura pour longueur, outre la hauteur priſe du fond de la platine au-deſſus de la roue de cadran, ce qu'il faut pour former le pivot qui doit entrer dans la platine, & pour celui qui doit rouler dans le pont *T*, il vaut mieux le couper un peu plus long : on percera ce pignon ſur le tour, d'un trou propre à recevoir un arbre liſſe de $\frac{3}{12}$ de ligne de groſſeur ; on ébauchera ce pignon à la lime, réſervant l'épaiſſeur convenable pour les ailes de pignon, & pour la rivure de la roue de renvoi ; on tournera ce pignon, on le finira & on le trempera : quand il ſera trempé & revenu bleu, on le polira, on achevera de tourner l'aſſiette pour y river la roue de renvoi ; on rivera cette roue, enſuite on levera le pivot inférieur qui aura près de $\frac{4}{12}$ de ligne de diametre, on ne reculera que peu la portée, afin de ne pas faire deſcendre la roue plus bas que le pignon de chauſſée : on agrandira le trou fait pour ce pivot à la grande platine, & l'on préſentera la roue, afin de voir ſi elle eſt élevée de la quantité convenable pour engrener en plein dans le pignon de chauſſée ; on reculera petit à petit la portée, juſqu'à ce que cela ſoit ; on mettra la roue de cadran en place, & on tournera du pignon de renvoi juſqu'à ce qu'il ſoit à fleur de la roue de cadran ; alors on fera la face du pignon, & on levera à fleur du pignon le pivot pour le pont *T* ; on fera ce pont, &

on le posera pour le rendre inébranlable : lorsque la roue est bien droite, on perce deux trous dans lesquels on chassera des pieds.

2485. Les roues de cadran étant faites, il ne restera plus que les pignons de petite moyenne & de champ à faire, & celui de rencontre, & l'on aura un mouvement fait en blanc : on fera donc ces pignons *k*, *l*, *m* (*Pl. XXXVII*, *fig*, 4) ; on choisira de l'acier tiré à pignon de 6 ; on arrondira quelques dents des roues de grande moyenne, de petite moyenne & de champ, & l'on prendra les grosseurs de ces pignons selon l'art. (535), un peu plus de 3 dents sur les pointes : on coupera les pignons de petite moyenne & de champ de la longueur du dehors du pont *ff*, au dehors de la petite platine, plus que moins ; on ébauchera les pignons, on donnera la longueur requise aux corps pour y river les roues : or pour cela, on observera que la petite moyenne doit passer au-dessus de la roue de fusée, & que la roue de champ doit être élevée passé le milieu de la cage du côté de la petite platine ; la longueur du pignon de rencontre est déterminée par la distance du nez de potence à la contre-potence : on tournera ces pignons, on aura soin de ne pas faire les tiges trop minces, afin qu'elles ne puissent pas fléchir, & que d'ailleurs les pivots étant faits, il reste une portée assez large pour ne pouvoir creuser les platines ; on polira les pignons, on levera les pivots que l'on tiendra plus gros qu'il ne faut : on tiendra les portées plus hautes, afin qu'en finissant, on puisse faire monter ou descendre la roue, & pour mettre ces pignons en cage, on creusera en chanfrein les trous des pivots du pont & de la platine afin que ces portées y entrent, on reculera les portées ou assiettes pour y river les roues ; on rivera ces roues, & le mouvement sera fait en blanc.

Du Finissage de la Montre.

2486. On fera faire le cadran auquel on donnera une courbure propre à ne pas toucher aux ponts de la cadrature ;

avant de faire le cadran, on perce les trous des pieds qui doivent l'attacher au mouvement : on attache communément les cadrans de montre avec trois pieds qui passent en dedans de la grande platine, & là ils sont percés chacun d'un trou pour recevoir les goupilles qui arrêtent le cadran : or cette méthode est défectueuse ; car si on a besoin de lever le cadran pour examiner la cadrature, il faut ôter le mouvement de la boîte, afin de tirer les goupilles, & en mettant & en ôtant ces goupilles, on court risque, en échappant, de courber les roues du mouvement ; il est donc préférable d'attacher le cadran avec une vis, & mettre deux pieds qui ne fassent qu'entrer dans la platine, pour le contenir ; par ce moyen, on leve le cadran très-facilement, comme dans les montres à répétition. Le cadran ainsi fait, & ajusté, on baissera les ponts *ff*, *T*, s'ils sont trop hauts. On ne doit agrandir le trou de remontoir du cadran pour le passage de la clef, que lorsqu'on a fini l'engrenage de fusée, & mis les deux grandes roues en cage ; car si l'engrenage étoit trop foible, on rapprocheroit la fusée contre le centre, & le quarré de fusée ne seroit plus au centre du trou.

2487. La premiere chose à laquelle il faut travailler pour finir une montre, c'est de bien dresser & adoucir les platines, faire entrer librement la petite platine sur celle des piliers, passer un équarrissoir dans les trous de goupilles des piliers, & de sorte que le trou affleure avec la platine, afin que la goupille presse la petite platine contre l'assiette du pilier, & que les deux platines étant assemblées, soient inébranlables. Il faut que les quatre trous des piliers pour les goupilles soient de même grosseur : ces trous peuvent être de $\frac{1}{12}$ de ligne passé; il est nécessaire que la goupille soit forte pour être mise & ôtée aisément.

2488. Cela fait, on mettra la roue de grande moyenne en cage, on mettra les quatre goupilles aux piliers, & l'on verra si la roue est bien de hauteur ; si cela n'est pas, on reculera de l'une ou l'autre portée, selon qu'il sera nécessaire, pour donner les jours à la roue, soit avec la platine, ou avec

la roue de fuſée ; les portées étant tournées de hauteur , on polira de nouveau les pivots. Si les trous ſont trop grands , il faudra les reboucher , enſuite les agrandir, & de ſorte que le trou étant bien net, la roue tourne librement & ſans jeu ſur ſes pivots : alors on fera les réſervoirs pour l'huile.

2489. Il faut obſerver ici que pour reboucher les trous de pivots , il ne faut pas ſe ſervir de laiton tiré à la filiere ; le milieu de ce fil eſt rarement net, les parties en ſont déſunies , il s'y forme des cavités : il faut prendre du cuivre de chaudiere, d'un beau jaune , fort épais, & l'écrouir à plat ſeulement avec la tête du marteau : on coupe enſuite des petites bandes que l'on arrondit à la lime.

2490. On mettra la roue de fuſée en cage avec celle de grande moyenne, on goupillera la cage , on mettra le pont de fuſée, & l'on examinera les jours entre la grande roue , & celle de fuſée, & du crochet de fuſée avec la petite platine; ſi la fuſée eſt trop haute , c'eſt-à-dire, que la roue de fuſée approche trop près de la grande roue & de la platine , & le crochet de fuſée de la petite platine, alors il faudroit tant ſoit peu tourner la fuſée de la baſe & du ſommet ; mais ſi la fuſée n'étant pas trop haute , approche trop de l'une ou l'autre platine, on tournera en conſéquence de l'une ou l'autre portée de l'arbre de fuſée ; on polira les pivots & portées de cet arbre.

2491. La fuſée miſe de hauteur , on examinera l'engrenage ; pour cet effet , on arrondira quelques dents de la roue de fuſée;on percera au-deſſus du point de contact de l'engrenage un trou *t* (*Pl.XXXVII, fig. 6*) aſſez grand pour ſe rvir defenêtre propre à voir l'engrenage ; on remontera en cage la roue de fuſée & de grande moyenne ; on preſſera un doigt contre la tige de grande roue moyenne ſaillante en dehors , afin de produire un frottement qui empêche de tourner la roue autrement que par la preſſion des dents de la roue de fuſée , que l'on conduira avec l'autre main : par ce moyen on juge parfaitement de la nature de l'engrenage, en faiſant concourir

le

le tact & la vue, on voit ainſi toutes les parties de la menée.

2492. Si l'engrenage eſt un peu trop fort, la roue de fuſée pourra reſter en place ſans déjetter les trous, parce que la fuſée étant *plantée* *, on ne fera que tourner tant ſoit peu de la roue : lorſqu'un engrenage eſt beaucoup trop fort, ſi le pignon eſt de bonne groſſeur, alors il ne faut pas tourner la roue, parce que le pignon deviendroit trop gros ; mais il faut la déjetter en dehors ; & ſi l'engrenage eſt foible, il faudra étirer le trou de fuſée pour rapprocher la roue du pignon dans lequel elle engrene ; on étire ce trou, de ſorte que l'engrenage étant de la force convenable, le pivot paſſe dans le milieu du trou ; par cette précaution, pour reboucher le trou, il ne faut que tourner une virole.

2493. Le trou du gros pivot de fuſée étant ainſi étiré pour l'engrenage, on l'agrandira de ſorte qu'il y ait tout autour du pivot un vuide convenable pour faire une virole épaiſſe & ſolide. Pour reboucher ce trou, on tournera une virole *G* (*Pl. XXXVII, fig.* 12) ſur laquelle on levera une portée *z* pour former un canon qui entre dans le trou du pivot de fuſée ; on laiſſera déborder le canon en dedans de la noyure, de la quantité requiſe pour la rivure : on mettra ce côté du trou en chanfrein, on rivera ce canon ſur la platine, on mettra de l'huile pour la raiſon expliquée (2455) : même obſervation à tous les trous que l'on rebouche.

2494. Le trou de fuſée ainſi rebouché, on l'agrandira pour y faire entrer juſte & librement le pivot ; on mettra la petite platine en place ſur celle des piliers, on étirera, comme il ſera néceſſaire, le trou pour le paſſage du tigeron de chauſſée, & de ſorte que la roue reſte droite en cage ; on fera la même choſe au trou du pont de fuſée qui devra être étiré, & de ſorte que la roue étant droite, le pivot demeure juſte dans le milieu du trou du pont, afin que celui-ci puiſſe

* On dit qu'une roue eſt *plantée*, lorſqu'on en a rebouché les trous, qu'elle eſt droite dans la cage, & qu'elle tourne librement.

être rebouché au centre (mais si le trou devoit être beaucoup jetté de côté, ensorte qu'il ne restât pas assez de matiere autour du trou, il vaudroit mieux, dans ce cas, couper les tenons du pont de fusée, & mener ce pont, de maniere que la roue fût droite en cage, & percer de nouveaux trous pour les pieds) : on rebouchera les trous du pont avec un bouchon non percé ; & pour percer ce trou, on se servira de l'outil à mettre les roues droites en cage, décrit (504) ; on percera le trou par le point marqué avec l'outil, on l'agrandira convenablement, & la roue de fusée étant bien droite & libre en cage, & l'engrenage de la force convenable, on fera les réservoirs pour l'huile des pivots.

2495. On marquera au-dessus de l'entonnoir *g g* du gros pivot de fusée (*Pl. XXXVII, fig.* 4) l'endroit où l'on doit faire descendre l'origine du quarré de fusée ; on fera ce quarré selon les regles prescrites ; on arrondira les dents de la roue de fusée, & on finira l'engrenage avec les attentions prescrites (972 & suiv.)

2496. On tournera la fusée prête à être taillée ; pour cet effet elle doit être creusée du milieu en forme de cloche : pour trouver le nombre de tours de chaîne qu'elle doit contenir, afin que la montre marche 30 heures, on comptera les dents de la roue de fusée ; celle-ci est de 54, & le pignon où elle engrene 12 (2385) ; elle fait donc un tour en 4 heures $\frac{1}{2}$ qui sont contenues 6 fois $\frac{2}{3}$ dans 30 heures : donc pour que la montre marche 30 heures, il faut que la fusée contienne 6 tours $\frac{2}{3}$ de chaîne.

2497. On taillera la fusée, ainsi qu'on l'a expliqué (art. 465 & suiv.), on fera à l'origine de la rainure, du côté de la base de la fusée *E* (*Pl. XXXVII, fig.* 6), une creusure avec une fraise mince pour y loger le crochet de la chaîne, on percera un trou pour y chasser la cheville *p* ; c'est sur cette cheville que le crochet de la chaîne *S* s'arrêtera : on choisira une bonne chaîne d'Angleterre qui soit juste de l'épaisseur de la rainure de la fusée, & on la coupera de longueur, selon l'art. (468).

2498. On percera tout contre le rebord du barillet *D* (*Pl. XXXVII*, *fig.* 4) un trou de foret incliné comme le crochet de la chaîne qui doit y entrer ; on entourera le barillet avec la chaîne, & on comptera le nombre des tours qu'elle fait, cela donnera le nombre de tours que le ressort doit faire (468) ; si la chaîne fait 4 tours sur le barillet, on fera faire un ressort qui fasse 6 tours $\frac{1}{2}$, afin qu'ayant un tour de bande en bas, lorsque le ressort sera monté, il reste encore un demi-tour ; cela est nécessaire pour avoir un ressort moins exposé à casser & à changer de force.

2499. Pour faire exécuter le ressort, il faut mettre les crochets à la virole de barillet, & à l'arbre ; & le ressort étant fait, on fera les ouvertures au fond du barillet & au couvercle pour la barrette ; on fera cette barrette, on placera le barillet & la fusée en cage, & on égalisera la fusée à son ressort, ainsi qu'on l'a expliqué (469 & suiv.).

2500. On fera faire l'effet au garde-chaîne que l'on amincira, s'il est trop épais, ce qui se voit, lorsqu'il arrête le crochet avant que la chaîne entoure le dernier tour de la rainure ; & cela étant arrangé, on fera au bout du garde-chaîne un creux angulaire contre lequel le crochet de fusée ira porter, de sorte que l'effort de la main ne pourra faire monter ni descendre le garde-chaîne.

2501. On ajustera sur le quarré de fusée un entonnoir *E* (*fig.* 7), dont le bord supérieur approche tout contre le cadran, & sans gêner la liberté de la fusée, & le dessusentrera jusqu'au bas du quarré : cet entonnoir est d'acier.

2502. On fera les engrenages des roues de cadran, & pendant que l'on est à cette partie, on ajustera les aiguilles : nous ne répéterons pas ces opérations ; on peut consulter les art.(*969 & suiv.*) pour les engrenages; & les art.(1201 *& suiv.*) pour l'ajustement des aiguilles.

2503. On fera l'engrenage de la grande roue moyenne avec le pignon de la petite roue moyenne : pour cet effet, on verra d'abord si l'engrenage est bon ; dans ce cas, on levera les pivots de la petite roue moyenne, selon les dimensions

prefcrites, & on rebouchera les trous à taraud avec des bouchons percés fur le tour; on fera l'engrenage, on pratiquera une fenêtre à la grande platine pour le voir, &c.

2504. On pourroit maintenant achever l'engrenage de la petite roue moyenne avec celle de champ; mais comme on ne peut faire l'engrenage de champ & planter la roue que lorfque le balancier & la roue de rencontre eft pofée, il vaut mieux attendre, pour terminer cet engrenage, que la roue de rencontre foit plantée: nous allons maintenant parler de l'exécution de cette partie.

De l'exécution de l'Echappement: Du Balancier.

2505. J'ai dit (art. 575) que l'or eft la meilleure matiere dont on puiffe fe fervir pour le balancier d'une montre; mais comme tous les Horlogers n'ont pas la facilité de préparer de l'or, & que d'ailleurs ces fortes de balanciers deviennent trop coûteux pour des montres ordinaires, à caufe du déchet de l'or, j'emploie pour celles-ci des balanciers de cuivre parfaitement durcis & dorés avec foin, ce qui les garantit du verd de gris: le cuivre eft préférable à l'acier, n'étant pas fujet au magnétifme (556 & 557). Pour faire un tel balancier, il faut le finir entiérement, le mettre de pefanteur, le dorer, &c, avant de le river. Pour cet effet, il faut commencer par déterminer le poids qu'il convient donner à ce balancier, relativement au nombre de vibrations, à la groffeur des pivots, & à la force de mouvement de la machine, &c; & quand le balancier, l'échappement & la montre font terminés, on donne l'harmonie convenable entre le régulateur & le moteur. Il faut obferver que pour fuivre cette route, il faut partir d'après une montre bien conftruite, qui ait fubi les épreuves requifes; alors fi le reffort moteur eft un peu trop fort ou trop foible, on change le reffort, felon qu'il eft néceffaire. Nous avons donné (art. 2436 *& f.*) les dimenfions d'une telle montre; c'eft d'après ces dimenfions que nous exécutons celle-ci; ou fi l'on veut changer le poids du balancier, felon la force du reffort, on ne rivera pas

tout-à-fait le balancier sur la verge, & quand il sera mis de poids, on l'ôtera pour le dorer, on le rivera ensuite & on mettra la cheville de renversement.

2506. Pour faire le balancier, on prendra du cuivre de chaudiere que l'on écrouira avec soin, & jusqu'à ce qu'on l'ait presque réduit à l'épaisseur qui lui convient, qui est ici $\frac{3}{12}$ de ligne (2480); on percera un trou qui soit plus petit que le pivot de l'arbre à balancier (*Pl. XXXVIII, fig.* 19) décrit (2434), on fera entrer le trou du balancier fort juste sur le pivot de l'arbre, on croisera le balancier en trois, laissant les barrettes larges, ainsi que le champ; on tournera le balancier droit & rond, mais plus épais & plus grand qu'il n'est besoin; ensuite on l'ôtera de dessus l'arbre, on le limera bien plan des deux côtés, on diminuera la largeur des barrettes & du champ, ensorte qu'il ne pese qu'environ 10 grains; on le remettra de nouveau sur l'arbre pour achever de le tourner parfaitement rond, & de 10 lignes de diametre, & de l'épaisseur donnée: on achevera les barrettes que l'on arrondira, pour que les saletés ne puissent s'y arrêter, & pour le mettre du poids requis (7 grains, voy. art. 2377); on étrecira le champ en se réglant sur des traits fins faits sur le tour; cette attention est nécessaire pour que le balancier étant tout monté sur sa verge, il soit d'équilibre.

2507. On ajustera la plaque d'acier *P* sur la potence (*Pl. XXXVII, fig.* 6); cette plaque n'a besoin que d'environ $\frac{2}{12}$ d'épaisseur; il faut percer le trou pour la vis, de sorte qu'il soit en dehors de la creusure faite à la grande platine, afin que la tête de cette vis n'ait pas besoin d'être noyée; on prendra donc cette grandeur *P h* (*fig.* 5), & on la portera du centre *h* (*fig.* 6) sur la potence; on percera le trou à la plaque & à la potence, on taraudera le trou de celle-ci, on fera la vis avec une bonne tête; & comme la tête de cette vis toucheroit à la grande platine, on y fera un trou pour son passage, on mettra la grande roue moyenne en cage, & on verra si la plaque d'acier en approche trop près; si cela est, & la plaque n'étant pas trop épaisse, on baissera de la potence: cela fait, on limera du de-

dans du talon de potence pour le réduire à $\frac{3}{12}$ de ligne d'épaiſſeur qu'il doit avoir ; on réduira à la même épaiſſeur le coqueret de cuivre du balancier, on trempera le coqueret d'acier, & la plaque du talon de potence ; on ne fera pas revenir les bouts ſur leſquels les pivots doivent porter, afin de leur conſerver toute leur dureté, & qu'ils ne ſe creuſent pas par le frottement du bout du pivot : pour cet effet, on pincera les bouts de la plaque & du coqueret, avec des tenailles à goupilles, & l'on préſentera l'autre bout à la chandelle, afin qu'il devienne bleu juſqu'à la pince ; on polira le coqueret d'acier & la plaque ; & après les avoir bien dreſſés avec une lime non trempée, & de la pierre à huile, pour les polir, on ſe ſervira de potée d'étain & d'une lime de cuivre.

2508. En parlant de l'exécution de la couliſſerie, nous avons preſcrit des ſoins qui nous diſpenſent de répéter ici l'ajuſtement de cette partie ; ainſi nous ſuppoſons la couliſſe faite, & enſorte qu'elle reſtera à la hauteur qu'on lui a donnée. Il en eſt de même du coq : nous ſuppoſons qu'il a la hauteur qui lui convient pour le jeu du balancier, & il vaut mieux qu'il en ait plus que moins, afin que ſi le balancier ne tourne pas parfaitement droit, il ne puiſſe toucher ni au coq ni à la couliſſe ; & de la maniere dont il a été exécuté, ſes pieds doivent plaquer parfaitement ſur la platine, & ſans qu'il ſoit beſoin de les limer pour les dreſſer ; ils l'ont été ſur le tour, ce qui eſt préférable : le plan du balancier doit être parfaitement parallele à la platine ; ainſi il ne faut que placer les tenons aux pattes du coq, ce que l'on fera avec les précautions indiquées (958 *& ſuiv.*) ; mais avant cela on a dû faire vuider & graver ce coq, ainſi que cela ſe pratique, & comme on le voit (*fig.* 9) : nous obſerverons ici pour les tenons & vis du coq qu'il faut avoir grand ſoin que la preſſion des vis ne tende pas à courber la platine, ainſi que cela arrive fréquemment ; car alors cela donne trop ou trop peu de jeu à la roue de rencontre, ce qui eſt capable de faire varier & arrêter la montre, ainſi que je l'ai vu arriver. Pour éviter ce défaut, il eſt eſſentiel, 1°, que les pattes du coq poſent bien à plat

ſur la platine ; & 2°, il faut que les creuſures du coq, pour loger les têtes des vis ſoient très-plattes du fond, & plus grandes que les têtes des vis, afin que ces têtes ne puiſſent toucher aux côtés des creuſures : cela étant ainſi préparé, on pourra faire la verge de balancier.

De la Verge de Balancier.

2509. Pour faire une verge de ballancier, on prend du petit acier quarré d'Angleterre ; on a ſoin de choiſir celui dont les pores ſont les plus ſerrés, qui eſt pur & ſans paille ; on coupe le bout de cet acier un peu plus que la longueur que doit avoir la verge, on le lime ſelon la figure 17, *Pl. XXXVIII*, on fait les palettes ouvertes d'environ 100 degrés, c'eſt-à-dire un peu plus que l'équerre ; les palettes doivent avoir plus de demi-ligne de largeur (nous remarquerons, à propos de largeur, que les Ouvriers appellent *largeur des palettes* la diſtance de *a* (*fig.* 17) au centre *b* du corps, & longueur de la palette, l'intervalle de *b* en *c*) ; la diſtance de l'une à l'autre palette dépend de la hauteur qu'il y a du dedans du talon de la potence au dehors de la petite platine ; on peut d'ailleurs faire la palette d'en bas plus longue qu'il ne faut, & on la recule après, ſelon qu'il eſt beſoin ; pour pouvoir paſſer la verge dans la platine, on fera *l'entrée*, ou ouverture quarrée *d x* (*fig.* 8) ; on rend cette entrée aſſez grande, à cauſe que la roue de rencontre doit s'y loger en partie (*voy. fig.* 6) ; en faiſant cette ouverture, il ne faut pas emporter tout-à-fait le trou *d* du balancier, mais en réſerver la moitié pour indiquer le centre : le plan des palettes ne doit pas être tout-à-fait dirigé au centre de la verge, mais un peu en dedans ; on appelle cela *ne pas entailler les palettes jusqu'au centre* ; par cette précaution l'échappement aura moins de chûte. Le corps de la verge doit être limé parfaitement rond, & de même groſſeur dans toute ſa longueur ; il faut qu'il n'ait que $\frac{1}{8}$ de ligne de groſſeur pour cette montre.

2510. Lorſque la verge eſt faite ſelon la figure preſcrite,

on y ajuſte l'aſſiette *T* ſur laquelle doit être rivé le balancier, & qui doit porter la virole de ſpiral. On fait à cette aſſiette une petite entaille propre à entrer ſur le bout de la palette d'en haut ; les Ouvriers pratiquent cette fente pour faciliter le poli de la palette : l'aſſiette peut avoir $\frac{8}{12}$ lig. de diametre, & autant d'épaiſſeur ; ainſi ajuſtée, ébauchée & tournée, on la ſoudera avec de la ſoudure d'argent (886 *& ſuiv.*) ; il faut avoir attention de diriger la flamme du chalumeau contre l'aſſiette, afin de ne pas faire trop chauffer la verge, & de ne pas corrompre l'acier, ce qui rendroit la verge ſujette à caſſer par la moindre ſecouſſe. Lorſque l'aſſiette eſt bien ſoudée, on fait chauffer également toute la verge en promenant la flamme ſur toute la longueur du corps, & quand la verge eſt de couleur de ceriſe, on la jette dans l'eau ; étant ainſi trempée, on la blanchit très-légerement avec de la pierre-ponce ; pour faire revenir la verge, on aura une plaque de cuivre ou d'acier fort mince & creuſée ; on poſe ſur cette plaque la piece qu'on veut faire revenir, & on expoſe la plaque à la flamme de la chandelle ; cela fait revenir plus également : on appelle cet outil un *Revenoir* : on fera ainſi revenir la verge d'un jaune tirant ſur le bleu.

2511. Pour dreſſer la verge après qu'elle eſt trempée ; cela ne peut pas ſe faire par les pointes, ainſi que cela ſe pratique pour les pignons, parce que cela changeroit la groſſeur du corps de la verge, & que les palettes ne ſeroient plus au centre, comme auparavant : on ſe ſervira donc d'un petit marteau tranchant avec lequel on frappera ſur le corps du côté concave, & lorſque la verge eſt parfaitement ronde, il faut la faire chauffer de nouveau avec le revenoir, en ſorte qu'elle devienne d'un jaune tirant ſur le bleu, comme auparavant. Par cette précaution on évite que la verge ne ſe courbe, lorſqu'en la poliſſant on a emporté les coups de marteau.

2512. La verge étant parfaitement dreſſée, on tournera l'aſſiette, & on formera la portée & le canon pour recevoir le balancier ; on reculera cette portée, en ſorte que l'aſſiette n'ait que $\frac{4}{12}$ ligne d'épaiſſeur, quantité ſuffiſante pour l'épaiſſeur de

de la virole de ſpiral ; on adoucira avec une lime non trempée, les palettes & le corps, & avec beaucoup de précaution : on fera entrer le trou du balancier bien à force ſur l'aſſiette de la verge, & de ſorte qu'il tourne droit.

2513. Cela ainſi fait, on mettra la potence en place ; ainſi que la couliſſe ; on tournera de côté la plaque de la potence, on mettra le balancier en place, enſorte que ſon tigeron inférieur paſſe dans le trou du talon de potence, on mettra le coq, & le tigeron d'en haut paſſera dans le trou du coqueret, le balancier diviſant l'intervalle entre le coq & la couliſſe ; on marquera à raz du talon de potence, un trait qui déſignera l'endroit où il faut couper le tigeron; on coupera au burin ce tigeron, mais en laiſſant par précaution un peu plus de longueur, afin d'avoir de quoi en ôter : on fera le pivot d'en bas ſelon les dimenſions indiquées, on préſentera de nouveau le balancier, mais en faiſant poſer le pivot ſur la plaque d'acier : ſi le balancier eſt trop haut, il faudra reculer convenablement la portée, & racourcir le pivot : ce pivot ainſi fait, on marquera à fleur du coqueret de cuivre (le balancier & le coq étant en place) l'endroit où on doit couper le tigeron d'en haut, ce qu'étant fait, on formera le pivot ſelon les dimenſions preſcrites : il eſt entendu que pour avoir plus de facilité de tourner les pivots, on a ôté le balancier. On mettra de nouveau le balancier, & on le préſentera ſur l'outil décrit (480), afin de voir s'il eſt d'équilibre ; s'il ne l'eſt pas, on l'y mettra ; on le fera dorer, & enſuite on le rivera ſur ſon aſſiette ; (à propos de cette aſſiette, avant de river le balancier, il faut la tourner plus petite du côté du balancier que de la palette, afin que la virole de ſpiral étant entrée ſur cette aſſiette, elle ne tende pas à en ſortir) ; on dreſſera le balancier, enſorte qu'il tourne parfaitement droit, & l'on polira la verge de balancier, corps, palette, &c.

2514. Les pivots de balancier ainſi faits, on rebouchera les trous du talon de potence & du coqueret : pour cet effet, on agrandira les trous, de ſorte qu'ils aient $\frac{3}{12}$ de ligne, on les taraudera ; on taraudera ſur le même trou de la filiere du laiton

de chaudiere bien écroui ; on ébiselera les trous à reboucher ; on rivera avec soin les bouchons.

2515. Les trous ainsi rebouchés, on se servira de l'outil à mettre les roues droites en cage, pour marquer l'endroit exact où on doit percer les trous des pivots. Pour cet effet, on mettra le balancier en place ; on fera poser le trou du coq sur la pointe inférieure de l'outil, & avec l'autre on fera une marque au talon de potence ; par ce point, on percera avec un foret plus petit que le pivot, un trou qui sera celui du pivot ; on agrandira ce trou bien droit, & de sorte que le pivot y entre juste ; cela étant fait, on mettra le coqueret en place, ainsi que le coq qui le porte ; on mettra une virole sous la platine, & on fera poser le trou du pivot du talon de potence sur la pointe inférieure de l'outil à mettre les roues droites, & avec l'autre on marquera un point au coqueret, par lequel on percera avec le même foret dont on s'est servi, un trou pour le pivot ; on agrandira ce trou pour que le pivot y entre : on fera avec un foret rond par devant des creusures en dedans du coqueret & du talon de potence, afin que les portées des pivots ne puissent pas y toucher, & que les pointes des pivots aillent, ainsi que cela doit être, poser contre les plaques d'acier.

2516. On mettra le balancier en sa place, & on verra s'il a le jeu convenable en hauteur ; s'il est trop haut, on accourcira l'un ou l'autre pivot ; & s'il a trop de jeu en hauteur, il faudroit limer tant soit peu du coqueret de cuivre & de la potence.

2517. Cela fait, on arrondira le dehors du coqueret de cuivre & du nez de potence, en les mettant en goutte de suie pour y attirer l'huile ; mais il faut avoir grand soin que le sommet de cette goutte de suie approche très-près de la plaque ; car sans cela l'huile s'échappera du talon de potence pour monter à la verge.

2518. Le balancier ainsi posé & parfaitement droit, il faudra reboucher le trou du coq, afin que ce trou ne soit que de la grosseur convenable pour le jeu du tigeron, lequel ne doit pas pouvoir y toucher, mais tourner librement, & concentriquement à ce trou : cette précaution est nécessaire, ainsi

que je l'ai dit (2393) , pour éviter qu'une chûte de la montre qui feroit caſſer le pivot, ne pût pas eſtropier la roue de rencontre , s'il y a un grand jeu entre le coq & le balancier ; on laiſſera une têtine au bouchon, afin que dans l'accident ſuppoſé, cette têtine retînt le balancier , & l'empêchât de ſortir de ſa place : on ébiſelera par le deſſus du coq le trou rebouché , afin que ce ſoit le bas qui reçoive l'effort de la chûte ; car plus le contre-coup ſera arrêté près du milieu de l'axe de balancier, & moins les pivots pourront caſſer.

2519. Le balancier ainſi enarbré & mis en cage , on pourra planter le pignon de roue de rencontre : pour cet effet, il faut obſerver que cela dépend de la grandeur de la roue , & cette grandeur elle-même dépend de la diſtance qu'il y a depuis l'aſſiette de balancier au dedans du talon de potence. Or pour faciliter l'exécution de l'échappement, il faut tenir la roue la plus grande qu'il ſe pourra , & il faut cependant qu'elle ſoit diſtante du talon de potence , afin que de la palette d'en bas, il y ait un bon tigeron pour éloigner l'action de la palette du pivot, & que l'huile ne puiſſe pas monter à la palette : il faut donc élever la roue de rencontre juſqu'à ce qu'elle approche fort-près de l'aſſiette ; par ce moyen l'action de la roue ſe fait plus dans le milieu de l'axe de balancier ; ici la roue de rencontre peut être de 2 ligne $\frac{3}{12}$ lig. de diametre , & le champ une ligne de largeur.

2520. Pour faire la roue de rencontre , on prendra du cuivre de chaudiere bien pur , on le forgera très-dur ; enſuite on percera la roue d'un trou qui ait $\frac{4}{12}$ de ligne ; on la chaſſera ſur un arbre liſſe tourné bien rond ; on tournera la roue ſelon les dimenſions preſcrites , & laiſſant une force convenable au fond , afin que, les croiſées étant faites, elle ſoit ſolide, & ne puiſſe ſe courber. Le champ de la roue ſur lequel doivent être faites les dents , doit être épais du côté du fond de la roue , & aller en amincíſſant au bord pour les pointes des dents ; mais il ne faut pas que ce champ de la roue ſe termine en pointe ; il faut au contraire que ſon épaiſſeur ſoit de $\frac{3}{24}$, afin que ces dents ne creuſent pas les palettes : la roue ainſi tournée , on fera les croiſées.

2521. On mettra le balancier en place; & préſentant la roue contre le nez de potence, & de ſorte qu'elle approche contre l'aſſiette du balancier, on fera par le trou de la roue un point ſur le nez de potence qui indiquera l'élévation du trou du pivot de rencontre; on percera par ce point un trou avec le même foret qui a ſervi à percer les trous de pivot de balancier.

2522. Si le derriere du nez de potence approche trop du corps de la verge, on le reculera, & de ſorte qu'il reſte un intervalle pour la plaque d'acier qui doit recouvrir le trou de rencontre: il ne faut pas non plus trop reculer ce nez de potence, car alors le pivot étant éloigné du devant des dents de rencontre, ſouffrira une plus grande preſſion: le derriere du nez de potence étant reculé, comme il convient, on limera le devant, enſorte qu'il reſte ſeulement un peu plus que l'épaiſſeur requiſe pour la longueur du pivot.

2523. On limera de même épaiſſeur le bout de la contre-potence; on ajuſtera la plaque d'acier qui doit recevoir le bout du pivot; cela diſpoſé, on levera les pivots de pignon de rencontre; on commencera par celui du côté de la roue; & avant cela, on formera d'abord les portées pour y river la roue: on y fera entrer la roue à force; on levera le pivot au bout du tigeron, & le tenant plus gros qu'il n'eſt beſoin, on agrandira le trou du nez de potence pour que ce pivot y entre; on reculera, petit à petit, la portée du pivot, juſqu'à ce que la roue approche tout contre le corps de la verge; alors on ôtera la roue, & on achevera le pivot: on fera l'autre pivot en ſe réglant ſur la diſtance du nez de potence à la contre-potence, celle-ci ayant ſon plan parallele à la potence.

2524. Les pivots ainſi faits, on rebouchera avec un bouchon percé ſur le tour & taraudé, le trou fait au nez de potence; on l'agrandira pour y faire entrer juſte le pivot, & pour achever de poſer le pignon de rencontre, il faudra percer le trou à la contre-potence, & parfaitement à même diſtance de la platine que l'eſt celui du nez, afin que l'axe du pignon ſoit parallele au plan de la platine: pour cet effet on ſe

ſervira de l'outil repréſenté (*Pl. XXXVIII*, *fig.* 24); on fait poſer la baſe *b* de l'outil ſur la platine, & on éleve la pointe *a* à la hauteur du trou fait au nez de potence; en cet état on trace, avec cette pointe, un trait ſur la contre-potence qui déſigne l'élévation du trou du pivot; & pour la direction de l'axe, on ſe réglera ſur le centre de la roue de champ & du balancier; on percera ce trou, & on l'agrandira pour y faire entrer le pivot.

2525. On préſentera la roue de rencontre afin de voir ſi elle approche aſſez du corps de la verge. Pour juger de cela, il faut que les palettes ſoient tournées du côté de la potence, afin de ne pouvoir toucher à la roue, on ne fait, pour cela, que tourner le balancier; ſi elle en étoit trop diſtante, il faudroit reculer un peu la portée du pivot; on rivera la roue ſur ſon pignon, & on tournera la roue avec ſoin deſſus, devant, & dedans: & ſi la roue touchoit à la verge, il faudroit en tourner du devant; on verra auſſi ſi le devant de la roue approche également du haut & du bas du corps de la verge, c'eſt-à-dire, ſi le plan de la roue eſt parallele à l'axe de balancier; ſi cela n'étoit pas, il faudroit reboucher le trou de la contre-potence, ſi elle approche trop du bas; & au-contraire limer le deſſous de la contre-potence, ſi elle approche trop du haut; on évitera de reboucher le trou en ne le perçant pas tout-à-fait au trait fait avec l'outil (2524), mais un peu plus haut; alors on lime du deſſous de la contre-potence juſqu'à ce que la roue de rencontre ſoit parfaitement droite avec la verge: cela ainſi fait, on pourra faire l'engrenage de champ, & finir le reſte du dedans de la cage.

2526. La roue de rencontre ainſi poſée, on mettra la roue de champ en cage, & on verra ſi l'engrenage eſt trop fort ou trop foible, afin de pouvoir reculer l'une ou l'autre portée en faiſant les pivots: on arrondira quelques dents de cette roue, afin de pouvoir examiner l'engrenage: s'il eſt trop fort, ainſi que cela doit être, on ôtera du deſſous de la traverſe du pont *f f* (*Pl. XXXVII*, *fig.* 7), cette traverſe étant faite plus épaiſſe qu'il ne faut; on obſervera auſſi ſi la roue eſt droite en cage,

afin d'étirer l'un ou l'autre trou avant de le reboucher : on fera donc d'abord le pivot du côté du pont, & ſelon les dimenſions preſcrites (2444); on fera de même l'autre; on rebouchera les trous, les agrandiſſant convenablement, & les taraudant, enſuite perçant ſur le tour les trous des pivots aux rebouchons; on mettra cette roue libre, & on fera les noyures pour l'huile; on tournera la roue bien droite & ronde, on fera la denture, & on terminera avec ſoin l'engrenage, enſorte qu'il n'y ait ni accotement ni chûte, & plutôt le dernier que le premier.

2527. Enfin on fera la denture de la petite roue moyenne, & on achevera l'engrenage avec les ſoins preſcrits; on pratiquera une fenêtre à la grande platine pour voir l'engrenage: nous obſerverons ici par rapport aux engrenages que la perfection de cette partie d'une montre eſt très-eſſentielle; car delà dépend l'uniformité de la force tranſmiſe à la roue de rencontre; mais ce n'eſt pas de cela ſeul que la juſteſſe de la montre ſera troublée, parce que ces inégalités ſe répetent tous les jours de la même maniere; ces inégalités dans les engrenages tendent à détruire les trous des pivots, & à changer la nature des frottements; & c'eſt par-là principalement que les mauvais engrenages ſont nuiſibles aux montres; cela fait, on pourra achever l'échappement.

2528. La roue de rencontre tournée & poſée, comme on l'a vu ci-deſſus, il reſtera à la fendre. Pour cet effet, on la fixera ſur le taſſeau de la maniere qu'on l'a expliqué (2322); on choiſira une fraiſe de l'épaiſſeur & figure convenable, ce que l'uſage enſeigne; on inclinera l'*H* de 25 degrés; on mettra l'alidade ſur la premiere diviſion du nombre 13; on fendra la premiere dent à moitié; enſuite on tournera la plate-forme en arriere, afin que le plan de la dent ſe faſſe dans le plein du cercle de la roue, & qu'il ne puiſſe fléchir, ce qui ne manque pas d'arriver, lorſqu'après avoir formé une dent, on fait commencer la ſuivante par le côté du devant de la dent finie; car alors le plan incliné de la fraiſe la rejette ſur la dent déja enfoncée, & recourbe la pointe, au lieu que par

l'autre méthode la courbure de la fraiſe termine la dent ſans pouvoir la courber. J'entre dans ces détails, parce que pour faire une roue parfaitement juſte, il ne ſuffit pas d'avoir un bon inſtrument, il faut de plus ſavoir en faire uſage, & la perfection de la roue de rencontre eſt de très-grande conſéquence pour la juſteſſe de la montre. Il ne faut pas d'abord rendre les extrémités des dents aiguës, il faut au contraire les tenir quarrées, & quand on a fait le tour, on les rend aiguës en deviſſant tant ſoit peu la vis de l'*H*, afin de faire deſcendre la fraiſe; on terminera ainſi les pointes des dents en appuyant très-légerement ſur l'*H*, afin de ne pas courber les dents : une roue ainſi fendue ne peut manquer d'être parfaitement juſte; ainſi pour la terminer, il ne faudra qu'ôter les *bavures* de la fraiſe, friſer les pointes des dents (1320) avec beaucoup de précaution, & étirer le devant & le derriere des dents avec des limes fort douces (1322).

2529. Mais ſi la roue eſt mal fendue & inégale, pour l'égaliſer, on ſe ſervira de l'outil repréſenté (*Pl. XXXVIII, fig.* 23) dont on a vu la deſcription (2355).

2530. La roue de rencontre ainſi finie, on fera l'échappement : pour cet effet, on ajuſtera la plaque d'acier *F* (*Pl. XXXVIII, fig.* 10) deſſus le lardon de potence, & de ſorte que la partie *q* de cette plaque poſe contre le derriere *m* du nez de potence *D* (*fig.* 9), afin de recevoir le bout du pivot de rencontre qui doit affleurer avec le derriere du nez de potence, & il faut qu'en cet état la roue n'approche pas tout-à-fait contre le corps de la verge ; on trempera & adoucira cette plaque afin de n'avoir plus à y toucher ; alors on pourra étrecir les palettes petit à petit, juſqu'à ce qu'en même temps que les dents n'accrochent plus avec les palettes, le bout du pivot de rencontre porte contre la plaque d'acier : il faut diminuer les palettes avec beaucoup de précaution, afin de n'en pas trop ôter, ce qui donneroit des chûtes à l'échappement, auxquelles on ne pourroit pas remédier, puiſque la la roue eſt ſuppoſée approcher tout contre le corps de la ver-

ge *. Il faudroit donc dans ce cas diminuer le corps de la verge, & c'eſt une opération très-longue & difficile : il eſt néceſſaire que les palettes ſoient parfaitement de même largeur, afin que les levées par chaque palette ſoient égales ; on ſe ſervira, pour les rendre égales, d'un calibre à pignon, dont on fera uſage pendant tout le temps qu'on étrecira les palettes pour trouver leur largeur.

2531. Lorſque l'échappement eſt prêt de ſe faire, ce que l'on voit quand la roue approche du corps de la quantité dont on l'avoit vue approcher avant de préſenter les palettes ſans y toucher, & ſans accrocher; il faut alors ôter les angles des palettes, afin qu'ils ne déchirent pas les dents, & ne puiſſent faire accrochement. A meſure que l'on fait l'échappement, les palettes étant d'égale largeur, on fait mouvoir la vis de rappel de la potence, afin de trouver le vrai point, pour que les chûtes ſoient parfaitement égales.

2532. On reculera la palette d'en bas juſqu'à la roue ; afin de l'éloigner du pivot, & par conſéquent de l'huile qu'elle pourroit attirer ; il ſuffit que l'engrenement des dents de la roue ſe faſſe en plein ſur la palette ; ſi la roue approchoit trop près de l'aſſiette de balancier, il faudroit un peu reculer cette aſſiette avec une lime.

2533. On achevera l'ajuſtement des trous de pivots de la roue de rencontre ; on arrondira pour cet effet en goutte de ſuie le derriere du nez de potence, & de même de la contre-potence ; on percera à l'extrémité *n* (*Pl. XXXVII, fig.* 6,

* Dans une montre à roue de rencontre dont la force motrice eſt donnée, ainſi que la grandeur de la roue, & le nombre de ſes dents, il eſt eſſentiel que la roue approche le plus près du centre de la verge qu'il eſt poſſible ; car, 1°, le frottement de l'échappement eſt moindre, puiſque la preſſion de la roue eſt la même, & la traînée plus petite : 2°, les arcs de levée ſont plus grands, & par conſéquent ceux de ſupplément plus petits, d'où ſuit un moindre dérangement par les variations de force motrice. Il faut encore obſerver que pour parvenir à faire un échappement à roue de rencontre, qui ait moins de recul, il faut avoir une roue plus grande & moins nombrée ; le corps de la verge reſtant le même, les arcs de levée ſeront plus grands, & le recul ſera dans un moindre rapport avec ces arcs, condition qui conduit à l'iſochroniſme des vibrations.

un trou pour y chaſſer un tenon; on alongera le trou de la vis fait à la contre-potence, afin qu'on puiſſe mettre & ôter la roue de rencontre ſans ôter cette vis.

2534. L'échappement étant entiérement fini, on placera la cheville de renverſement : pour cet effet, on commencera par faire une marque ſur le devant du coq avec une lime angulaire : il faut que cette marque ſoit juſte dans le milieu entre les deux pieds du coq ; cette marque indiquera l'endroit où la cheville de renverſement devra s'arrêter pour que les palettes ſoient également en priſe avec les dents de la roue ; cela marque auſſi le point de repos de ſpiral, c'eſt-à-dire, l'endroit où la cheville s'arrêtera lorſque le ſpiral étant en place : le balancier ſera libre & arrêté. Maintenant pour marquer ſur le balancier ce repaire, ou ce qui revient au même, la place de cette cheville, il faut mettre la roue de rencontre en place : on introduira entre le balancier & le coq, un petit morceau de papier pour empêcher le balancier de tourner librement : cela fait, on fera tourner le balancier très-doucement, juſqu'à ce qu'une dent de la roue de rencontre que l'on preſſera avec le doigt, échappe : dans l'inſtant on fera un petit trait ſur le bord du balancier, préciſément au-deſſous de la marque faite au coq ; on fera revenir le balancier ſur lui-même, juſqu'à ce qu'une dent de la roue échappe de l'autre palette ; on fera un petit trait ſur le bord du balancier à l'endroit du repaire du coq : ces deux traits faits au balancier marqueront l'arc total de levée ; ainſi en diviſant cet intervalle en deux parties égales, & faiſant à cet endroit un trait un peu plus fort, il donnera le repaire où le balancier doit s'arrêter pour que les palettes ſoient également en priſe avec la roue, & le ſpiral à ſon repos : on percera ſur la ligne qui va de ce repaire du balancier au centre, un trou dans l'épaiſſeur du balancier & près du bord extérieur pour la cheville de renverſement ; on fera cette cheville avec une aiguille revenue bleu ; on la rivera ſur le balancier, & de ſorte qu'elle ſoit perpendiculaire au plan du balancier.

2535. Maintenant pour trouver le point où l'on doit reculer la couliſſe pour éviter le renverſement, & que le ba-

lancier puiſſe décrire les plus grands arcs, on ſe ſervira de la méthode ſuivante. On mettra le coq en place, & l'on marquera ſur la platine immédiatement au-deſſous du trait de repaire fait au coq un point qui ſervira auſſi de repaire ; on mettra la roue d'échappement & le balancier en place, & l'on introduira un morceau de papier entre le coq & le balancier ; on fera tourner le balancier juſqu'à ce qu'une dent de la roue de rencontre ſoit parvenue à l'extrémité de la palette ſans pouvoir être renverſée ; alors on fera vis-à-vis le repaire du coq un petit trait au balancier ; ce trait déſignera le chemin que le balancier peut faire de ce côté ſans renverſement ; c'eſt-à-dire ſans que la palette abandonne la dent de la roue : on fera rétrograder le balancier juſqu'à ce qu'une dent de la roue étant reculée par la palette ſoit parvenue à l'extrémité de cette palette, ſans pouvoir cependant l'abandonner ; on fera un petit trait ſur le bord du balancier, directement au-deſſous du repaire du coq ; on prendra avec un compas la diſtance qu'il y a depuis le trait de repaire ou de la cheville, juſqu'à un des petits traits derniérement marqués au bord du balancier ; on mettra la couliſſe en place, & poſant une pointe du compas ſur le point ou repaire *N* de la platine (*Planche XXXVII, fig.* 8), de l'autre pointe on tracera en *p* & *q* ſur la couliſſe, des petits traits qui marqueront l'endroit où l'on doit pouſſer l'entaille pour le renverſement de la cheville ; mais pour prévenir l'erreur qui pourroit s'être gliſſée en opérant, on ne reculera pas tout-à-fait juſqu'en *p* & *q*, afin qu'après avoir mis le balancier de la roue, on puiſſe examiner le renverſement lorſque la cheville touche au fond des entailles de la couliſſe.

2536. Les bords *p h*, *q g* de la couliſſe ſont limés ſelon un trait de compas tiré du centre *d* ; la grandeur de ce cercle dépend de la diſtance de la cheville de renverſement au centre du balancier ; plus on place cette cheville ſur le bord du champ, & moins cette entaille a beſoin d'être rapprochée du centre ; il ſuffit que la cheville ne puiſſe jamais y toucher.

2537. Il faut placer le piton de ſpiral en dehors de la couliſſe, comme on le voit en *G* (*fig.* 8), aſſez diſtant de la

couliſſe pour que le bras du rateau, lorſque l'aiguille eſt à o, ne puiſſe toucher à la cheville du piton ; il doit être rapproché du centre du balancier, afin que le ſpiral, par ſon extenſion, n'aille pas frapper contre le dedans de la couliſſe : on percera le trou pour le piton, & on l'agrandira bien droit, & paſſant l'équarriſſoir des deux côtés, on paſſera auſſi un alezoir pour unir & durcir le trou ; ce trou ainſi fait doit avoir environ $\frac{1}{[illegible]}$ lig. de groſſeur. Pour faire le piton, on prendra du laiton écroui quarré, de 1 ligne d'épaiſſeur ; on levera ſur le tour un pivot que l'on diminuera petit à petit, juſqu'à ce qu'il entre bien à force dans le trou fait à la platine : on fait ce pivot preſque cylindrique, ou pour le mieux, un peu plus dégagé du côté de la portée ; on coupe le pivot ſur le tour en l'arrondiſſant du devant pour faciliter l'entrée : on perce enſuite le trou pour la goupille ; ce trou doit être d'environ $\frac{2}{12}$ de lig. de groſſeur ; il doit être parfaitement percé droit & agrandi des deux côtés ; l'élévation de ce trou, au-deſſus de la platine, doit être dans le milieu de la diſtance qu'il y a entre la platine & le deſſous du balancier ; on coupera le piton ſur le tour, enſorte qu'il ne reſte que peu de matiere au-deſſus du trou, crainte que le piton ne puiſſe toucher aux barrettes de balancier.

2538. Pour faire la virole de ſpiral, on prendra du cuivre bien écroui, de l'épaiſſeur de l'aſſiette de balancier ; on percera un trou qui, agrandi, ſoit plus petit que l'aſſiette du balancier ; on tournera la virole ſur un arbre liſſe ; la grandeur de cette virole ne doit être ſuffiſante que pour y percer le trou, pour la cheville qui arrête le bout intérieur du ſpiral ; on perce d'abord ce trou en dirigeant le foret, de ſorte qu'il affleure l'arbre liſſe ſans le toucher ; on l'agrandira des deux côtés, & on tournera la virole du deſſus, enſorte qu'il reſte aſſez de force en dehors du trou, pour ſoutenir la goupille ; on a dû laiſſer la virole plus épaiſſe, afin que le trou de la goupille puiſſe être déjetté (en tournant les bords de la virole) d'un ou d'autre côté, pour que ce trou ſoit à la même élévation que celui du piton, & que par conſéquent ce ſpiral ſoit dans un plan parallele à la platine & au balancier ; on creuſera le côté de la virole qui

doit s'appuyer contre le balancier, afin qu'elle s'y applique, & joigne exactement, c'eſt le côté le moins agrandi du trou de la virole qui doit être placé contre le balancier, afin d'y être retenu, & qu'en tournant la virole avec un tourne-vis, elle ne tende pas à ſortir de ſa place. Avant d'ôter la virole de deſſus l'arbre, on la fendra en travers avec une lime à égaler; il faut faire cette fente en dehors du trou de la cheville pour le ſpiral, du côté oppoſé à l'entrée de la goupille, c'eſt-à-dire, à celui par où entre le bout intérieur du ſpiral : cette fente de la virole doit aller juſqu'à l'arbre, & couper tout-à-fait la virole, afin qu'elle faſſe reſſort pour s'ouvrir en entrant ſur l'aſſiette, & ſe refermer, lorſqu'elle eſt deſſus, en produiſant cependant un bon frottement : la virole ainſi faite, on la placera ſur ſon aſſiette.

2539. Il reſtera, pour achever ce qui concerne le finiſſage du deſſus, à placer les chevilles ſur le bras du rateau pour le paſſage du ſpiral. Pour marquer la place de ces chevilles, on prendra un compas dont une pointe poſera au centre *d* du balancier, & on fera paſſer l'autre par le bord intérieur du trou du piton; on fera, avec cette ouverture de compas, un trait ſur le bras du rateau; on percera aux deux côtés de ce trait, deux petits trous pour les chevilles; ces trous ne doivent être diſtants entr'eux, que de la quantité requiſe, pour que le ſpiral y paſſe librement; on mettra la roue de roſette en place & à ſon repaire avec le rateau : on placera la roſette que je ſuppoſe gravée & diviſée, comme on le voit (*fig.* 8); on mettra l'aiguille de roſette auſſi à ſon repaire; on amenera cette aiguille ſur le o (de la roſette) : dans ce moment, on prendra le foret qui a ſervi à faire les trous des goupilles; on marquera par ces trous deux points ſur la platine; on avancera l'aiguille à la diviſion 4; on marquera de nouveau deux points par ces trous, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que l'aiguille ait parcouru toute la roſette; ces points déſigneront le chemin des chevilles, & par-conſéquent la courbure que devra avoir le ſpiral, lorſqu'il eſt en repos, pour n'être pas plus contraint dans ſon mouvement par l'une ou l'autre cheville.

2540. Avant de démonter la couliſſe, il faudra percer à la platine les trous pour deux chevilles qui doivent arrêter le rateau, de ſorte que l'aiguille de roſette ne puiſſe approcher trop près du balancier, ce qui pourroit ou arrêter la Montre, ou faire caſſer le pivot du balancier. Pour cet effet, lorſque l'aiguille eſt ſur la diviſion o ou 32 des extrémités de la roſette, on percera avec un foret, au bout du rateau, des trous *x*, *y*, dans chacun deſquels étant chaſſée une cheville, ces chevilles borneront la courſe du rateau & de l'aiguille ; ſi les bouts *g*, *h* de la couliſſe recouvrent le rateau, ainſi parvenu au bout de ſa courſe, on les raccourcira de la quantité néceſſaire, pour que le rateau affleure, & que par-conſéquent on puiſſe marquer & percer les trous : on ne met ces chevilles que lorſque la platine a été adoucie à la pierre, & qu'elle eſt prête à dorer ; elles ne doivent pas être plus élevées que la couliſſe.

2541. Si on s'apperçoit qu'en tournant l'aiguille de roſette, le rateau fait lever les bouts de la couliſſe, on rivera ſur la platine aux bouts de la couliſſe deux griffes de cuivre *g*, *h* portant de petits biſeaux qui recouvriront les bouts de la couliſſe auſſi limés en biſeau, afin que ces griffes ne ſoient pas ſaillantes au-deſſus de la couliſſe ; on aura ſoin d'ajuſter la couliſſe, enſorte que le rateau tourne deſſous avec un frottement ni trop fort ni trop foible, mais moëlleux, & à l'abri des ſecouſſes qui pourroient le faire mouvoir, s'il étoit ſans frottement.

2542. On démontera la couliſſe ; on limera le bras du rateau, & on l'amincira de ſorte que le ſpiral étant en place, il ne puiſſe y toucher ; on arrondira le deſſus de ce bras, on le polira par deſſus & des côtés, & l'on rivera les deux chevilles qu'il faut faire entrer par-deſſus, & river par-deſſous ; on raccourcira les chevilles, de ſorte qu'elles ne puiſſent pas toucher aux barrettes du balancier.

2543. La montre étant amenée à ce point, on pourroit faire tirer le balancier, afin de voir ſi le reſſort a la force convenable ; mais il vaut mieux attendre, pour cela, que l'on ait doré la montre, coupé les vis de longueur, poli le tout, & mis les roues libres, parce que la liberté que l'on donne aux

pieces après la dorure, change la force que la roue de rencontre auroit eue à sa circonférence, si on l'eût fait marcher en blanc, ainsi que cela se pratique communément; & delà il arrive qu'une montre dont le balancier tiroit 25 minutes avant de la dorer, en tire 28 & 30 après qu'elle est dorée, quoique le balancier n'ait pas changé de poids, le ressort de force, & qu'il paroisse que la montre est dans le même état; mais le plus ou moins de jeu dans les trous, &c, change sensiblement le rapport de la force motrice au régulateur; & c'est de ce rapport que dépend, ainsi que nous l'avons fait voir, la plus grande justesse de la montre. Pour donc établir ce rapport, il faut que toutes les parties de la machine aient acquis un état constant & toute la liberté dont elles sont susceptibles; on fera donc dorer la montre.

2544. Avant de faire dorer la montre, il faut adoucir toutes les pieces de cuivre avec la pierre à l'eau; mais avant cela, il faut *rogner* toutes les vis, ensorte que leurs bouts affleurent seulement les platines ou autres pieces où elles sont attachées; on arrondit & polit les bouts de ces vis.

2545. Il faut aussi couper le quarré de fusée, après avoir premierement adouci sur le tour la rainure de la chaîne.

2546. Avant de dorer la montre, il faut que l'on ait fait la boîte & la charniere, ajustement dont je ne parle pas, il n'a rien de commun à la bonté de la montre.

2547. On ne fera pas mal, avant de dorer la montre, & lorsque toutes les pieces sont adoucies, de la remonter entiérement, & de goupiller les platines, comme si on vouloit la faire marcher, on verra si toutes les roues ont la hauteur convenable en cage; elles doivent avoir un peu de jeu, & les creusures pour l'huile doivent affleurer les bouts des pivots (*995*); s'il y a des roues qui n'aient pas assez de jeu en hauteur, il faudra reculer les portées, ainsi des autres parties.

2548. Les platines ainsi adoucies, on chassera, & on rivera les chevilles qui doivent régler la course du rateau, on prendra pour cela du cuivre de chaudiere, parce que le fil de fer prend mal la dorure.

2549. Toutes les pieces de cuivre de la montre doivent être dorées, à l'exception seulement de la roue de rencontre, de la fusée & du rateau de spiral que l'on polit.

2550. En dorant la montre, il s'introduit de l'or dans tous les trous, ensorte qu'il les faut nettoyer tous avec grand soin; les trous de pivots, avec des équarrissoirs bien adoucis, & les trous taraudés avec les tarauds qui ont servi à les tarauder, ou au défaut de taraud, on se servira des vis mêmes.

2551. Lorsque la montre sera dorée, on commencera par mettre libre la cage, passant, pour cet effet, un équarrissoir dans les trous de piliers de la petite platine; on ôtera les angles ou bavures faites par l'équarrissoir avec un petit cylindre d'acier, dont le bout est conique, & fait à trois faces; cet outil que j'appelle *Outil à bavures*, est représenté en *C g* (*Pl. XXXVIII, fig.* 3); il est nécessaire pour ôter les angles de tous les trous, & sur-tout des pivots; on passera un équarrissoir dans les trous de goupilles des piliers; on ôtera les angles & bavures des trous, avec l'outil à bavures.

2552. Tous les équarrissoirs dont on se sert pour rendre libres les trous des pivots doivent être d'une bonne figure (peu en pointe), & adoucis avec soin, avec une pierre à huile, ensorte que ces équarrissoirs rendent les trous unis & polis.

2553. On passera avec précaution un équarrissoir dans le trou de fusée de la grande platine; on ôtera les bavures; on passera aussi un équarrissoir dans les trous des pieds du pont de fusée; & ainsi à chaque trou dans lequel on passera l'équarrissoir, on ôtera avec l'outil à bavure les petits angles du trou: je ne répéterai donc plus cette opération. On passera le taraud dans le trou de la vis du pont de fusée, on passera l'équarrissoir dans le trou de fusée de la petite platine; on passera un équarrissoir dans le trou du pont de fusée; on mettra le pont en place, & pour que sa vis entre aisément, on mettra de l'huile dans le trou de cette vis; on mettra la fusée en cage, & on goupillera les platines, afin de voir si elle a le jeu convenable en hauteur; on en ôtera, ou on en donnera en conséquence; on examinera si les trous ne sont pas trop justes: il

faut qu'ils aient un peu de jeu, afin que l'huile y étant introduite, le pivot ne ſoit pas trop juſte dans ſon trou; il ne faut pas non plus que le trou ſoit trop grand; car alors les engrenages changent. Je voudrois pouvoir faire entendre le point convenable qu'il faut donner à chaque partie; c'eſt un milieu aſſez difficile à rendre; il y a pour cela un tact qui ne ſe donne pas.

2554. On mettra libre, avec les mêmes précautions, la roue de grande moyenne, le barillet, la petite roue moyenne & celle de champ. Pour mettre libre la petite roue moyenne & celle de champ, il faut d'abord commencer par mettre libre le pont porté par la grande platine, & ſur lequel doivent rouler les pivots de ces roues: pour cet effet, on paſſera un équarriſſoir dans les trous des pieds de ce pont, & on paſſera le taraud dans les trous des vis; on mettra ce pont en place avec les vis, ayant ſoin d'y mettre de l'huile. Pour mettre libre la roue de rencontre, il faudra d'abord paſſer l'équarriſſoir dans les trous des tenons de potence, afin de mettre la potence libre; on en fera autant à la contre-potence. Comme ces deux pieces ſont dorées, il faut avoir ſoin de gratter, avec un burin, l'or qui pourroit s'être attaché à la baſe de ces pieces; on paſſera un taraud dans le trou de la vis du lardon de potence, ainſi que dans celui de la plaque: même opération pour la vis de plaque de contre-potence: cela ainſi fait, on paſſera, avec ſoin, un équarriſſoir dans les trous de pivots de rencontre, & on les mettra libres, enſorte que ces pivots n'aient ni trop, ni trop peu de jeu dans leurs trous; on paſſera les tarauds dans tous les trous à vis de la petite platine; on mettra libre le pivot de la roue de roſette: s'il eſt entré de l'or dans la rainure de la couliſſe, on le grattera avec un burin; on paſſera un équarriſſoir dans le trou du piton, mais très-légerement, afin de n'ôter que l'or, & pour que ce piton tienne toujours à frottement; on remontera la couliſſerie, la roſette & ſa roue, ayant ſoin de mettre de l'huile à tous les trous de vis; on examinera ſi le rateau tourne à frottement ſous la couliſſe: s'il alloit trop libre, il faudroit un

peu

peu limer du dessous de la coulisse, afin de la faire frotter sur le rateau.

2555. On passera un équarrissoir dans les trous des pieds du coq; on mettra libre le coqueret & sa vis; on passera un équarrissoir légerement, & ensuite un alezoir dans le trou du pivot de balancier; on en fera autant au trou de pivot du talon de potence; on mettra le balancier en place, ainsi que le coq; on examinera d'abord le jeu du balancier en hauteur: s'il a trop ou trop peu de jeu, ce sera une marque que le coq s'est courbé; on le ramenera donc avec un marteau. Cela fait, on verra si les trous sont de bonne grandeur; ils doivent être un peu justes; car en parlant de leur exécution, j'ai supposé qu'on ne les faisoit que justes & sans jeu; or il est nécessaire que les pivots aient un peu de jeu pour que l'huile puisse s'y introduire, & que même lorsqu'elle est un peu épaissie, le pivot n'en soit pas empêché: on démontera le balancier, & on mettra libre le garde-chaîne; on fera la goupille, avec soin, après avoir passé un équarrissoir dedans le trou.

2556. On mettra libre le barillet sur son arbre; on nettoiera le barillet, & de même le ressort: on fera entrer le ressort dans le barillet (on vend des outils, faits pour cet usage, chez tous les Marchands); on introduira de l'huile entre les lames du ressort; on mettra la bride, l'arbre & le couvercle, & le barillet sera prêt.

2557. Enfin pour achever de mettre libre la montre, on passera un taraud dans tous les trous à vis de la grande platine; on mettra en place le cliquet d'encliquetage de barillet; on passera un équarrissoir dans le trou du pivot de la roue de renvoi; on passera de même un équarrissoir dans les trous des pieds du coq de la roue de renvoi; on passera aussi l'équarrissoir dans le trou du pivot de ce coq; on mettra libre le ressort de cadran; ainsi la montre sera prête à être remontée, pour éprouver si le ressort est de bonne force.

REMARQUES.

2558. Nous avons fait voir (1891 & 1893) que la relation du poids du balancier à la force motrice n'eſt pas la même dans toutes les montres, & qu'elle varie ſelon la nature des frottements, des forces de mouvements, &c; d'où il ſuit que pour parvenir ſûrement à la compenſation des effets du chaud & du froid, on peut ſe diſpenſer d'éprouver combien le balancier tire, puiſque, d'après nos principes, deux montres peuvent paroître faites de la même maniere, le balancier tirer le même nombre de minutes, & cependant varier différemment du chaud au froid; il eſt vrai que ce ſera de peu de choſe, ſi on a donné les mêmes dimenſions; mais puiſque l'épreuve du nombre de minutes tiré par le balancier ne ſuffit pas, il vaut mieux recourir à l'expérience qui ſatisfait à toutes les conditions: c'eſt l'épreuve de la montre par différentes températures: ſi on eſt en été, l'épreuve devient plus difficile; cependant j'en fais uſage dans toutes les ſaiſons.

2559. Pour remonter le mouvement, on nettoiera toutes les piecesavec ſoin; on ſéparera, les unes des autres, toutes les parties de la montre, & on les mettra dans une taſſe ou un verre rempli d'eſprit-de-vin, on les y laiſſera pendant une demi-heure environ; on ôtera ces pieces les unes après les autres; on les broſſera avec des broſſes faites exprès, & que l'on plonge auſſi dans l'eſprit-de-vin; on prend enſuite une broſſe ſeche qui acheve, en ôtant l'eſprit-de-vin, de nettoyer la piece; quand les pieces ſont grandes, on ſe ſert de linge pour les eſſuyer; toutes les pieces étant ainſi nettoyées, on paſſe du bois de fuſin dans tous les trous des platines: on mettra d'abord en place le pont des roues de petite moyenne & de champ qui s'attache à la grande platine; on met en place le reſſort de cadran, & le cliquet d'encliquetage de barillet; on poſe cette platine ſur l'outil appellé *Main*; on remonte la fuſée avec ſa roue, ayant ſoin de mettre de l'huile au trou de cette roue, au cliquet & à la baſe de la fuſée, & ſous la goutte

qui aſſemble la roue contre la fuſée : le barillet étant nettoyé, on mettra de l'huile aux noyures des trous de pivot, du couvercle & du fond ; on mettra la fuſée & le barillet en place ; on aſſemblera les pieces de la potence ; on nettoiera les trous de ſes pivots ; on attachera la potence à la petite platine ; on mettra le garde-chaîne & ſon reſſort en leur place ; on attachera le pont de fuſée ; on paſſera un bois de fuſin dans le trou ; on remontera la roue de rencontre, après avoir raſſemblé & nettoyé la contre-potence, on ſerrera la vis de la contre-potence, & de ſorte que la roue de rencontre étant libre, n'ait point de jeu ſelon ſon axe;on mettra de l'huile à ſes pivots; toutes les pieces du dedans de la petite platine étant poſées, on appliquera cette platine ſur celle des piliers ; on fera entrer les pivots dans leurs trous, & le rouage ſera remonté ; on fera des goupilles pour arrêter la cage ; on mettra le rochet d'encliquetage de barillet ſur ſon quarré ; on accrochera la chaîne au barillet, & on fera tourner l'arbre par ſon quarré, juſqu'à ce que la chaîne entoure le barillet, à l'exception d'un bout que l'on fera accrocher à la fuſée ; on continuera à tourner l'arbre de barillet, juſqu'à ce que le reſſort bande la chaîne, c'eſt de cet inſtant que l'on compte la quantité de bande du reſſort ; on tournera donc juſqu'à ce que l'arbre ſoit parvenu à ſon repaire ; on égaliſe ſur le barillet les tours de la chaîne ; afin qu'elle s'applique bien ſur la fuſée, & ſans *chevaucher* les filets; on mettra la roue de roſette en place ; on attachera la roſette avec ſes vis; on menera l'aiguille au milieu de la roſette, afin que le repaire ſe préſente au rateau ; on poſera le rateau à ſon repaire, & on mettra la couliſſe que l'on attachera avec ſes deux vis ; on examinera ſi on n'a pas dérangé le rateau de ſon repaire en poſant la couliſſe, ce qui ſe connoîtra en conduiſant l'aiguille aux extrémités de la roſette ; on mettra de l'huile à tous les trous de pivots de la petite platine ; on nettoiera le balancier avec un linge ; & les palettes & les pivots de la verge avec du liege ; on mettra le balancier en place ; on remontera le coqueret de cuivre après avoir nettoyé le trou du pivot ;on mettra le coqueret d'acier pour fixer l'un & l'autre ſur le

coq ; on mettra le coq en place, & ses vis ; on remontera la fusée d'un demi-tour, & la montre marchera ; on mettra de l'huile aux pivots de balancier ; on ôtera la montre de dessus la main, afin de l'y replacer en la faisant porter par la petite platine : alors on remontera le ressort, prenant garde que la chaîne n'enjambe dessus les filets de la fusée ; on mettra de l'huile à tous les trous de pivots de la grande platine & du pont ; on remontera la roue de renvoi, la chaussée & la roue de cadran, on placera l'entonnoir sur le quarré de la fusée ; enfin on mettra le cadran, & on l'attachera avec la vis ; on mettra les aiguilles, & on goupillera la chaussée ; la montre sera ainsi toute remontée.

2560. La montre étant donc remontée, on choisira un spiral, & on l'ajustera sur la virole de balancier, & sur le piton ; on réglera la montre, c'est-à-dire, que l'on changera de spiral jusqu'à ce qu'elle soit à-peu-près réglée ; on la laissera marcher quelques jours dans la température actuelle de la chambre; on notera, comme je le pratique pour ces sortes d'épreuves, l'avance ou retard de la montre en 24 heures, & le degré de température où elle est exposée ; ensuite après avoir bien mis la montre avec la pendule, je pose la montre sur l'outil décrit (1921), & qui est représenté (*Pl. XXIV*, *fig*, 5) ; j'entoure de glace pilée le verre qui recouvre la montre ; je note l'heure où la glace a fait descendre à son terme le thermometre qui est en dedans du verre : je laisse ainsi la montre pendant 12 heures, ayant soin de renouveller la glace à mesure qu'elle fond : je note l'écart que la montre a fait, & je dis : Puisque la montre qui étoit réglée à 20 degrés de température, je suppose, retarde par le froid ; il suit de nos principes, que le balancier décrit de trop grands arcs, & que par conséquent le ressort est trop fort : je le fais donc diminuer, & je recommence l'épreuve jusqu'à ce que la montre ne varie pas du chaud au froid. Voyez les expériences que j'ai rapportées sur cette matiere (art. 1904 *& suiv.*).

2561. Quand on aura ainsi réglé la montre par les différentes températures, il faudra la régler dans les deux situa-

tions, à plat & suspendues. Pour cet effet, après avoir remonté le ressort au haut, on la fera marcher suspendue, & on notera la quantité dont elle aura avancé ou retardé en 12 heures, par exemple ; on remontera de nouveau le ressort, afin qu'en la faisant marcher à plat, si le ressort n'est pas parfaitement égalisé avec sa fusée, on ne mette pas sur le compte de la différence de position, un écart qui pourroit n'être produit que par l'inégalité de la force motrice. On pourra donc avec cette précaution, juger de la différence que la montre fait *mise à plat ou suspendue* : si la montre avance, étant suspendue, on ôtera du haut du balancier, & au contraire (*voyez* 1915). Quand on aura ainsi laissé marcher la montre pendant quelque temps, & qu'elle sera bien réglée dans tous les cas, on la démontera pour la nettoyer ; on polira les têtes des vis, & on les bleuira ; on polira les pieces d'acier ; on remontera la montre, & elle sera finie.

Voilà le précis des recherches qui m'ont occupé jusqu'à présent ; je vais, en continuant l'étude du bel art de l'Horlogerie, mettre en pratique les principes que j'ai exposés dans cet Essai.

FIN.

T A B L E

QUI marque la longueur que doit avoir un Pendule ſimple, pour battre en une heure de temps un nombre de vibrations donné, calculée pour différentes longueurs, depuis un pouce juſqu'à 80 pieds.

Nombre de vibrations par heure.	Longueur du Pendule.				Nombre de vibrations par heure.	Longueur du Pendule				Nombre de vibrations par heure.	Longueur du Pendule.				Nombre de vibrations par heure.	Longueur du Pendule.			
	Pieds.	Pouces.	Lignes.	Douziemes de ligne.		Pieds.	Pouces.	Lignes.	Douziemes de ligne.		Pieds.	Pouces.	Lignes.	Douziemes de ligne.		Pieds.	Pouces.	Lignes.	Douziemes de ligne.
21000	0	1	0	11	13700	0	2	6	5	9100	0	5	8	9	4500	1	11	6	1
20000	0	1	2	3	13600	0	2	6	11	9000	0	5	10	6	4400	2	0	7	1
19000	0	1	3	9	13500	0	2	7	4	8900	0	5	11	11	4300	2	1	8	11
18000	0	1	5	7	13400	0	2	7	9	8800	0	6	1	9	4200	2	2	11	10
17900	0	1	5	9	13300	0	2	8	3	8700	0	6	3	5	4100	2	4	3	10
17800	0	1	6	0	13200	0	2	8	9	8600	0	6	5	3	4000	2	5	9	0
17700	0	1	6	2	13100	0	2	9	3	8500	0	6	7	0	3900	2	7	3	7
17600	0	1	6	5	13000	0	2	9	9	8400	0	6	8	11	3800	2	8	11	7
17500	0	1	6	7	12900	0	2	10	3	8300	0	6	10	11	3700	2	10	9	3
17400	0	1	6	10	12800	0	2	10	10	8200	0	7	0	11	3600	3	0	8	10
17300	0	1	7	1	12700	0	2	11	5	8100	0	7	3	0	3500	3	2	9	10
17200	0	1	7	3	12600	0	2	11	11	8000	0	7	5	2	3400	3	5	2	2
17100	0	1	7	6	12500	0	3	0	6	7900	0	7	7	6	3300	3	7	8	7
17000	0	1	7	9	12400	0	3	1	1	7800	0	7	9	10	3200	3	10	5	6
16900	0	1	8	0	12300	0	3	1	9	7700	0	8	0	4	3100	4	1	6	6
16800	0	1	8	2	12200	0	3	2	4	7600	0	8	2	11	3000	4	4	10	9
16700	0	1	8	5	12100	0	3	3	0	7500	0	8	5	6	2900	4	8	7	4
16600	0	1	8	8	12000	0	3	3	8	7400	0	8	8	3	2800	5	0	8	8
16500	0	1	8	11	11900	0	3	4	4	7300	0	8	11	2	2700	5	5	3	4
16400	0	1	9	2	11800	0	3	5	0	7200	0	9	2	2	2600	5	10	5	1
16300	0	1	9	6	11700	0	3	5	8	7100	0	9	5	4	2500	6	4	2	1
16200	0	1	9	9	11600	0	3	6	4	7000	0	9	8	5	2400	6	10	7	10
6100	0	1	10	0	11500	0	3	7	8	6900	0	10	0	0	2300	7	6	0	0
16000	0	1	10	3	11400	0	3	7	11	6800	0	10	3	2	2200	8	2	4	4
15900	0	1	10	7	11300	0	3	8	8	6700	0	10	7	3	2100	8	11	11	6
15800	0	1	10	10	11200	0	3	9	5	6600	0	10	11	1	2000	9	11	0	3
15700	0	1	11	2	11100	0	3	10	4	6500	0	11	3	2	1900	10	11	10	7
15600	0	1	11	6	11000	0	3	11	2	6400	0	11	7	4	1800	12	2	11	4
15500	0	1	11	9	10900	0	4	0	1	6300	1	0	0	0	1700	13	8	8	10
15400	0	2	0	1	10800	0	4	0	11	6200	1	0	4	7	1600	15	5	11	10
15300	0	2	0	4	10700	0	4	1	10	6100	1	0	9	6	1500	17	7	7	2
15200	0	2	0	8	10600	0	4	2	10	6000	1	1	2	8	1400	20	2	10	10
15100	0	2	1	0	10500	0	4	3	9	5900	1	1	8	1	1300	23	5	8	7
15000	0	2	1	4	10400	0	4	4	9	5800	1	2	1	10	1200	27	6	6	8
14900	0	2	1	8	10300	0	4	5	10	5700	1	2	7	10	1150	30	0	0	0
14800	0	2	2	0	10200	0	4	6	10	5600	1	3	2	2	1100	32	9	5	7
14700	0	2	2	5	10100	0	4	8	0	5500	1	3	8	10	1050	35	11	10	0
14600	0	2	2	9	10000	0	4	9	1	5400	1	4	3	11	1000	39	8	1	2
14500	0	2	3	0	9900	0	4	10	3	5300	1	4	11	4	950	43	11	2	8
14400	0	2	3	6	9800	0	4	11	5	5200	1	5	7	3	900	48	11	9	4
14300	0	2	3	11	9700	0	5	0	8	5100	1	6	3	7	850	54	10	11	6
14200	0	2	4	4	9600	0	5	1	11	5000	1	7	0	6	800	61	11	10	10
14100	0	2	4	9	9500	0	5	3	3	4900	1	7	9	11	750	70	6	4	9
14000	0	2	5	2	9400	0	5	4	7	4800	1	8	7	11	700	80	11	7	7
13900	0	2	5	7	9300	0	5	6	1	4700	1	9	6	7					
13800	0	2	6	0	9200	0	5	7	4	4600	1	10	6	0					

Remarques ſur la Table des longueurs des Pendules.

CETTE TABLE eſt dreſſée d'après l'expérience que je fis il y a pluſieurs années avec un Pendule ſimple de 30 pieds de longueur qui fit conſtamment 450 vibrations par heure : or, on trouve par analogie, que le Pendlule à ſecondes devroit être de 3 pieds 8 lig. $\frac{10}{11}$, c'eſt-à-dire, environ $\frac{1}{4}$ de ligne plus long que ne l'ont trouvé MM. de Mairan, Bouguer & l'Abbé de la Caille. Selon ces ſavants Académiciens, le Pendule ſimple à ſecondes eſt à Paris de 3 pieds 8 lig. $\frac{57}{100}$: je ne certifie pas l'exactitude de ma détermination, je préfere au contraire celle de MM. de Mairan, Bouguer & de la Caille; car outre que leurs expériences ſont faites avec toutes les attentions imaginables, ils y ont fait entrer la conſidération du poids, du fil, &c, que j'avois cru pouvoir négliger : ma Table étoit dreſſée lorſque je me ſuis inſtruit de leurs recherches; mais je n'ai pas cru devoir la recommencer pour cette petite différence, qui n'eſt de nulle conſidération pour ſon uſage en Horlogerie. Au reſte ceux qui deſireront avoir exactement la longueur d'un pendule ſimple, feront cette analogie : Le quarré du nombre des vibrations du pendule cherché eſt au quarré des vibrations du pendule à ſecondes, comme la longueur du pendule à ſecondes (qui eſt ici 44057 centiemes de ligne) eſt à celle du pendule cherché (n°. 1526).

TABLE ALPHABÉTIQUE
DES MATIERES;
Avec les définitions des Termes qui n'ont pas été données dans le cours de l'Ouvrage.

Les Chiffres romains I. & II. marquent le Tome premier ou second, la Lettre n. *indique le numéro où l'on doit recourir pour l'explication ou définition du terme cherché.*

A

B

D

F

G

H

N

O

P

Q

R

S

T

V

Fin de la Table des Matieres.

TABLE DES PLANCHES
DE LA SECONDE PARTIE.

Cette Table indique le numéro du Livre dans lequel les Figures de ces Planches sont expliquées.



TABLE des nombres de diviſions à placer ſur une plate-forme de Machine à fendre; nombre dont on fait communément uſage en Horlogerie pour fendre les Roues, graduer les Cadrans, &c.

720 pour les degrés & demi-degrés du cercle; ce nombre contient 2 fois 360, 3 fois 240, 4 fois 180, 6 fois 120, 8 fois 90, &c.

366 pour les roues annuelles à année biſſextille, il contient 2 fois 183, 6 fois 61.

365 pour les roues annuelles de 365 jours, il contient 5 fois 73.

350, il contient 2 fois 175, 5 fois 70, & 7 fois 50, &c.

300 . . . . 2 . 150 . . 4 . . 75, &c.

146 pour fendre les roues annuelles de Montres; pour graduer ces roues, on ſe ſert du nombre 365.

144. contient 2 fois 72, 4 fois 36, &c.

140 . . . . 2 . . 70 . . 4 . . 35.
126 . . . . 2 . . 63 . . 3 . . 42.
120 . . . . 2 . . 60 . . 4 . . 30.
116 . . . . 2 . . 58 . . 4 . . 29.
112 . . . . 2 . . 56 . . 4 . . 28.
110 . . . . 2 . . 55 . . . .
108 . . . . 2 . . 54 . . 4 . . 27.
104 . . . . 2 . . 52 . . 4 . . 26.
100 . . . . 2 . . 50 . . 4 . . 25.
98 . . . . 2 . . 49 . . . .
96 . . . . 2 . . 48 . . 4 . . 24.
94 . . . . 2 . . 47 . . . .
92 . . . . 2 . . 46 . . 4 . . 23.
88 . . . . 2 . . 44 . . 4 . . 22.
86 . . . . 2 . . 43 . . . .
84 . . . . 2 . . 42 . . 4 . . 21.

83. Ce nombre & le 69 ſerviront pour la révolution annuelle dont il eſt parlé *I. Partie. art.* 237.

82 . . . . 2 . . 41 . . . .
80 . . . . 2 . . 40 . . 4 . . 20.
78 . . . . 2 . . 39 . . 3 . . 26.
76 . . . . 2 . . 38 . . . .
74 . . . . 2 . . 37 . . . .
69 . . . .
68 . . . . 2 . . 34 . . . .
66 . . . . 2 . . 33 . . . .
64 . . . . 2 . . 32 . . . .
62 . . . . 2 . . 31 . . . .
59 . . . .

Fautes a corriger.

TOME PREMIER.

Plan de l'Ouvrage, *Page* xxiv, *derniere ligne*, la pofition, *lifez*, l'Expofition.

Premiere Partie. *Page* 21, *lig.* 12, Quadrature; *lif.* Cadrature:

Page 37, *lig.* 10, fixés fur la roue L; *lifez*, portés fur l'axe de la roue L: *Ibidem*, *lig.* 12, (*fig.* 3) *lif.* (*fig.* 1).

Page 58, *ligne* 24, c'eft fur cette cheville que preffe le reffort 7. Pour faire frapper le marteau des quarts, le reffort *S* eft le fautoir qui agit fur l'étoile *E*; *lifez*, c'eft fur cette cheville que preffe le reffort *S* pour faire frapper le marteau des quarts; le reffort *S* eft le fautoir qui agit fur l'Etoile *E*.

Page 64, *ligne* 1, moteur; *lifez*, rouage.

Page 70, *ligne* 7, fautoir 3, 4, *lifez*, fautoir *S*.

Page 88, *avant derniere ligne*, la plaque *DL*; *lifez*, la plaque *IL*.

Page 266, *ligne* 11, rendus fins; *lifez*, rendus fixes.

Page 270, *ligne* 13, Chapitre XXII; *lifez*, XXIX.

Page 316, *ligne* 20, 4°; *lifez*, 5°.

Page 439, *ligne* 6, le coq d'échappement de l'avance & retard: *lifez*, le coq d'échappement & l'avance ou retard.

Page 443; *ligne* 23, *retranchez* 1°.

TOME SECOND.

Page 5, *ligne* 6, mais les circonférences des cercles étant; *lifez*, mais les circonférences étant.

Page 11 *au titre du Chapitre IV*; *retranchez*, des conditions requifes pour faire de bons engrenages.

Page 81, *ligne* 14, $159\frac{9}{23}$; *lifez*, $157\frac{9}{23}$.

Page 104, *ligne* 3; *retranchez le mot* auffi.

Page, 107, *ligne* 24, la vis de preffion *D*; *lifez*, la vis de preffion *G*.

Page 119, *ligne* 27, 360 degrés par l'aiguille; *lifez*, 360 degrés parcourus par l'aiguille.

Page 152, *titre du Chapitre XXVI*, Du Reffort fpiral des; *lifez*: Du Reffort fpiral; des.

Page 292, *ligne* 22, cylindre *K*; *lifez*, cylindre *R*.

Page 303, *ligne* 26, Planche XXXVI; *lifez*, XXXIV.

Page 369, *ligne* 3, fig. 1; *lifez*, fig. 12.

Page 377, *ligne* 28, le bord *Aa*, auquel on; *lifez*, le bord *Aa* (Planche XXXVII, fig. 4.) auquel.

Page 389, *ligne* 2, fig. 10; *lifez*, fig. 11.

Page 392, *ligne* 2, fig. 12; *lifez*, (Planche XXXVIII, fig. 12).

Page 418, *ligne* 22, (fig. 1); *lifez*, (fig. 8.).

Note à ajouter à l'article 1889.

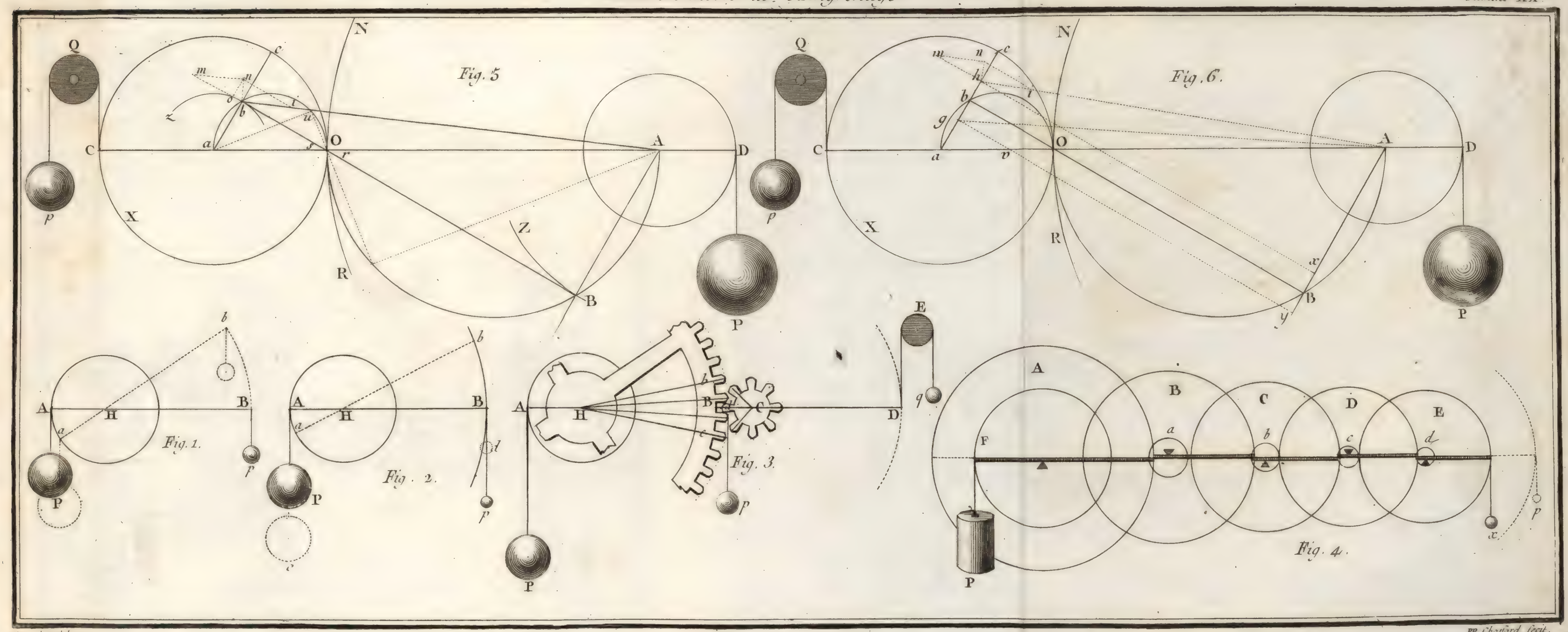
Il faut obferver ici que cette méthode de corriger les écarts d'une Montre qui varie par le chaud & le froid, en augmentant ou diminuant la force motrice, eft très-délicate: & qu'on n'obtiendra pas le même effet à toutes les Montres. Car fi on a

une Montre dont les frottements de pivots de balanciers ſoient dans un petit rapport avec la force de mouvement du balancier; plus on augmentera l'étendue des arcs par une plus grande force ou moteur, & plus les réſiſtances des huiles ſeront petites; enſorte qu'une pareille Montre avancera encore plus par le froid qu'elle ne faiſoit auparavant; (& ceci eſt conforme au principe de l'article 2277) : & au contraire, ſi dans une Montre dont les frottements ſont dans un grand rapport avec la force de mouvement du régulateur, on augmente la force motrice, & par conſéquent l'étendue des vibrations; alors les réſiſtances des huiles augmenteront en plus grande raiſon que la quantité de mouvement, & par ce moyen on fera retarder la Montre par le froid. Voilà donc deux effets contraires produits par l'augmentation de force motrice. J'ajoute ici ce petit éclairciſſement, pour que l'on ne croie pas que ce que je dis dans cet article (1889) eſt contradictoire au principe évident que j'établis dans les articles 2276 & 2277.

AVIS AU RELIEUR.

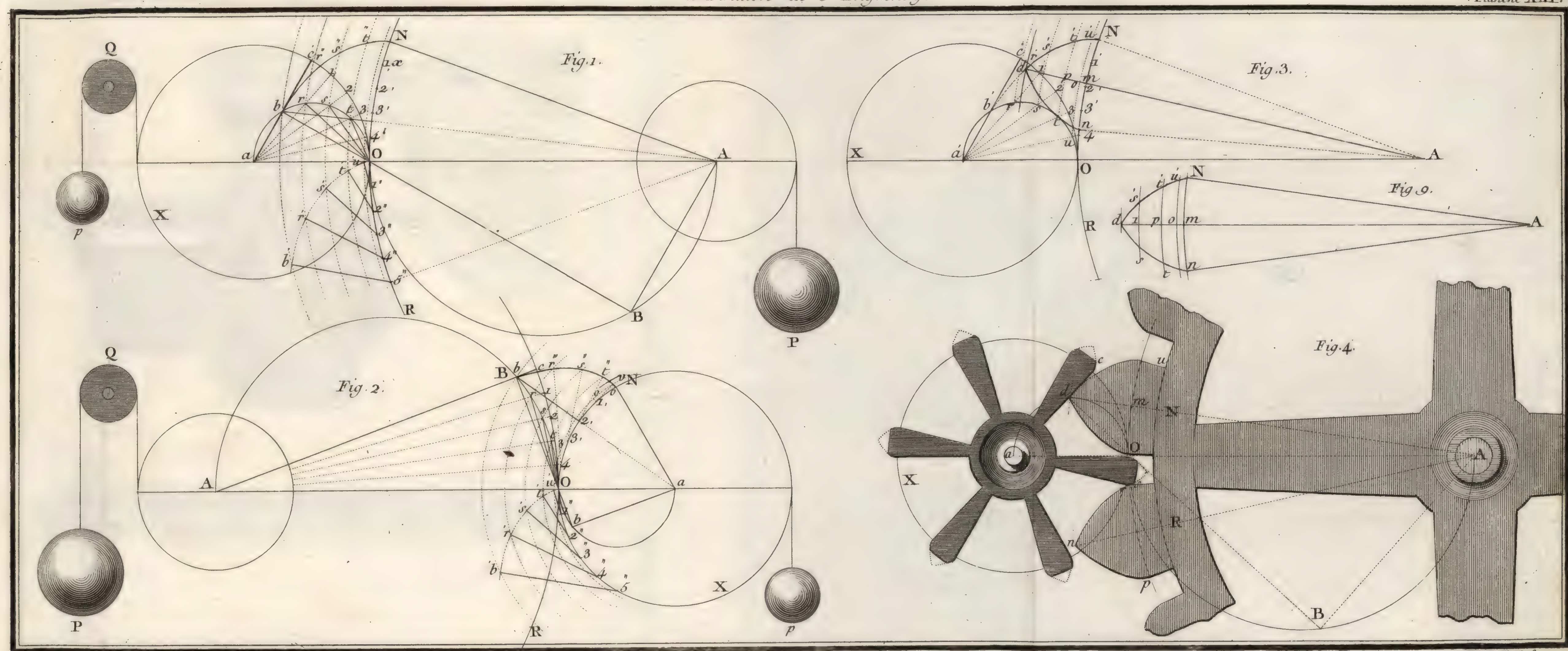
Les dix-neuf premieres Planches doivent être placées à la fin de la premiere Partie, immédiatement après la Table des Planches; & les Planches XX. à XXXVIII. ſe placeront à la fin de la ſeconde Partie après la Table des Planches du ſecond Volume.

De l'Imprimerie de H. L. Guerin & L. F. Delatour, rue Saint Jacques. 1763.



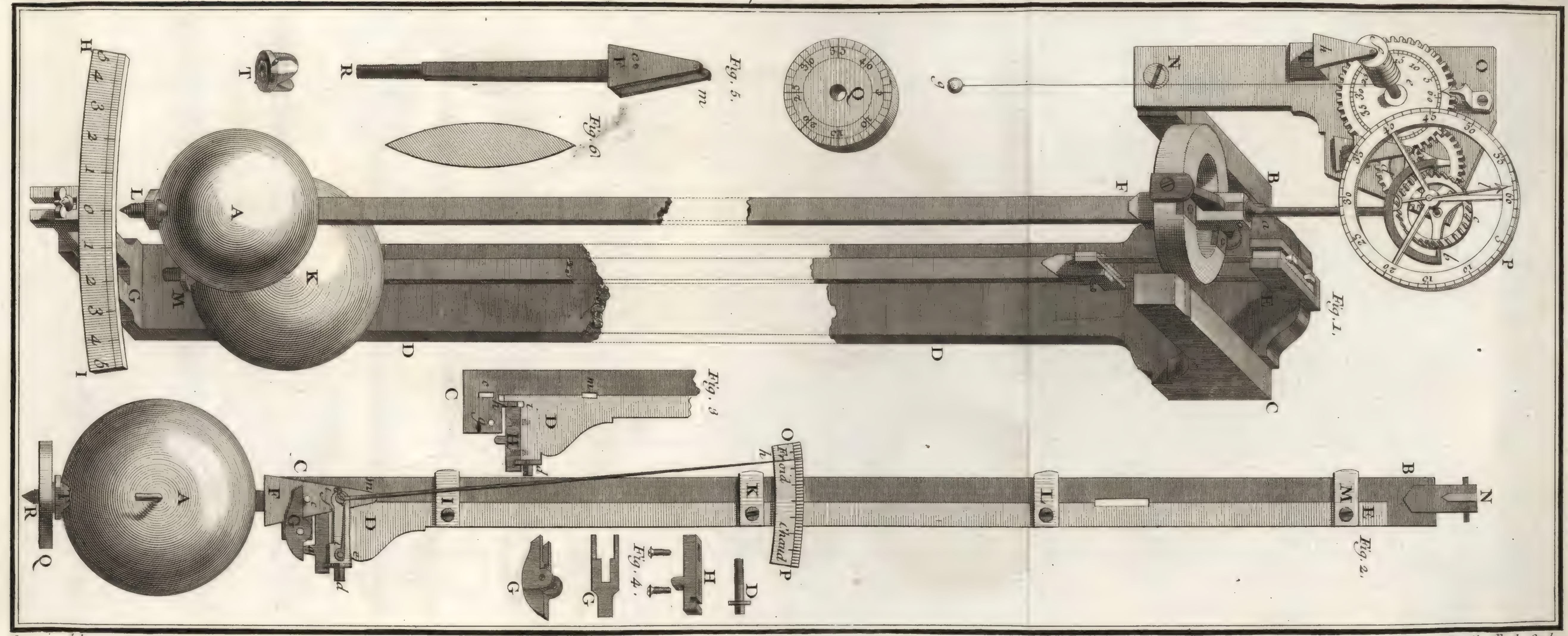
Goussier del.   PP. Choffard fecit.

Back of
Foldout
Not Imaged



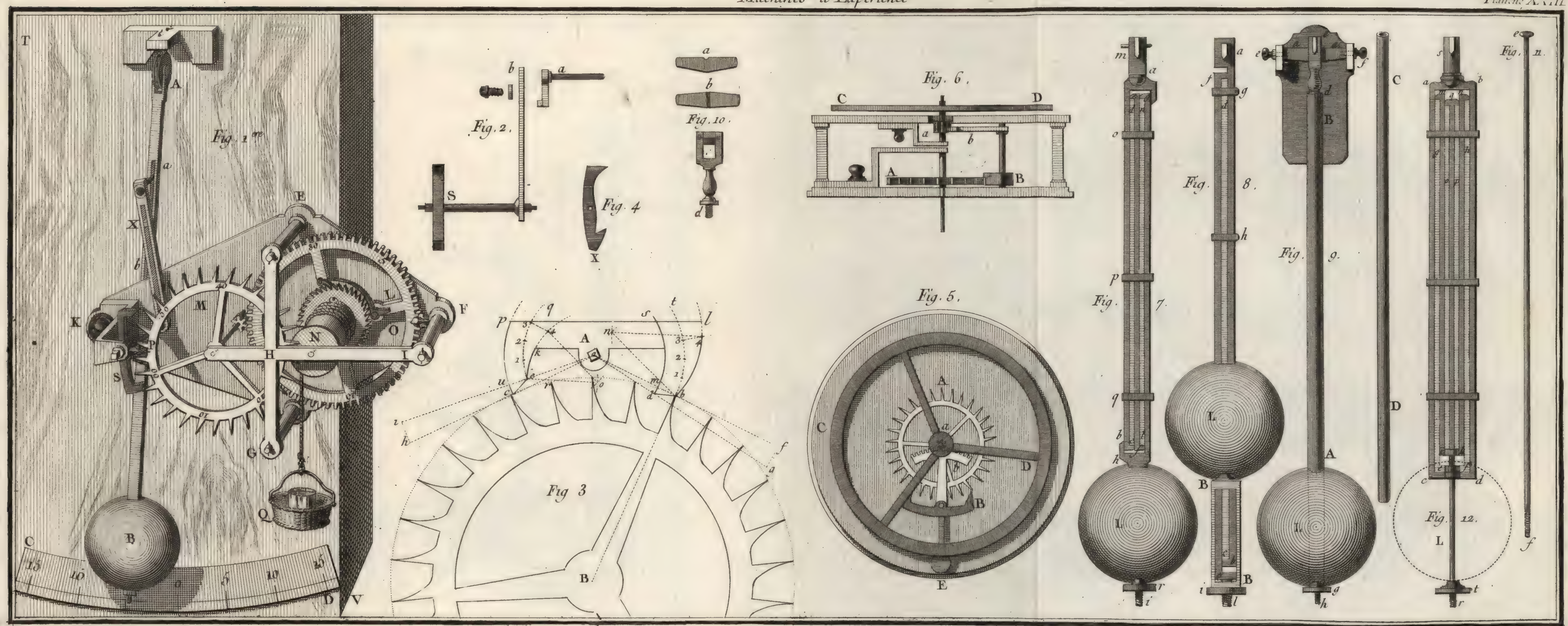
Goussier del. PP. Choffard fec.

Back of
Foldout
Not Imaged



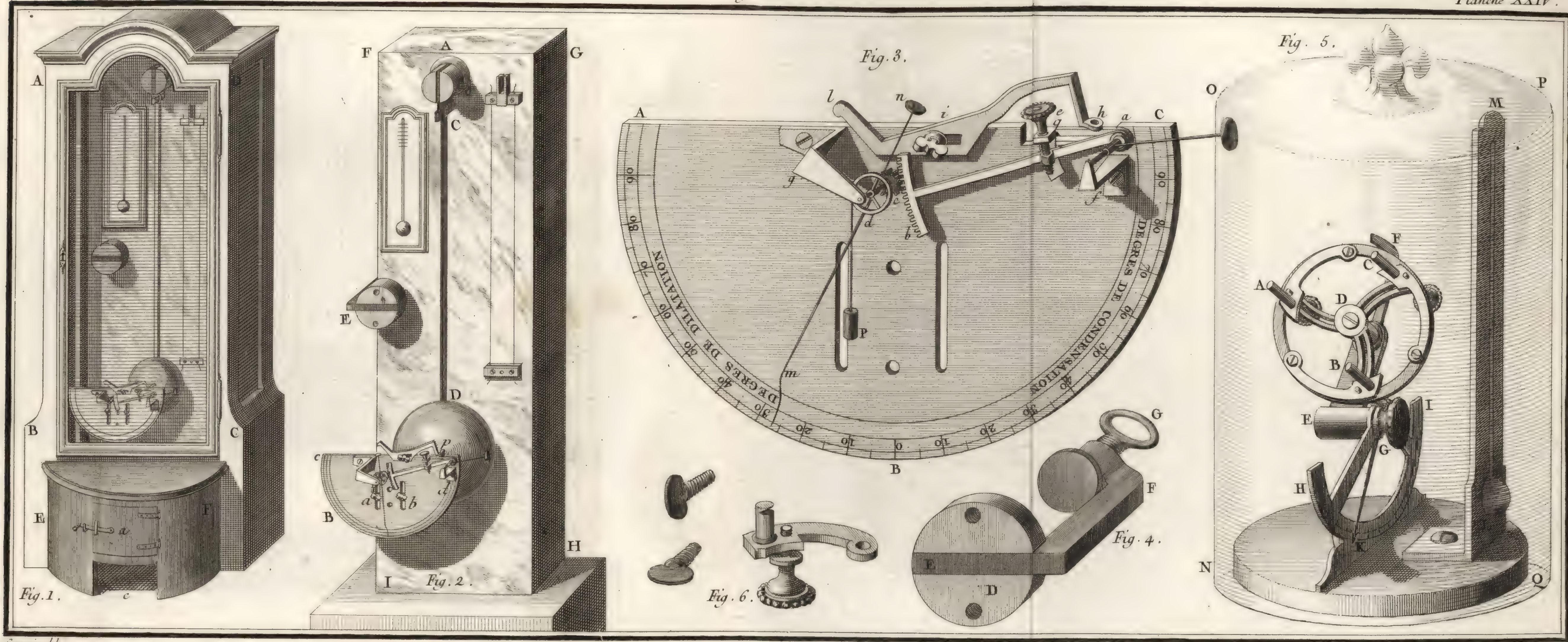
Goussier del. *P.P. Choffard Sculp.*

Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del. Pr. Choffard Sculp.

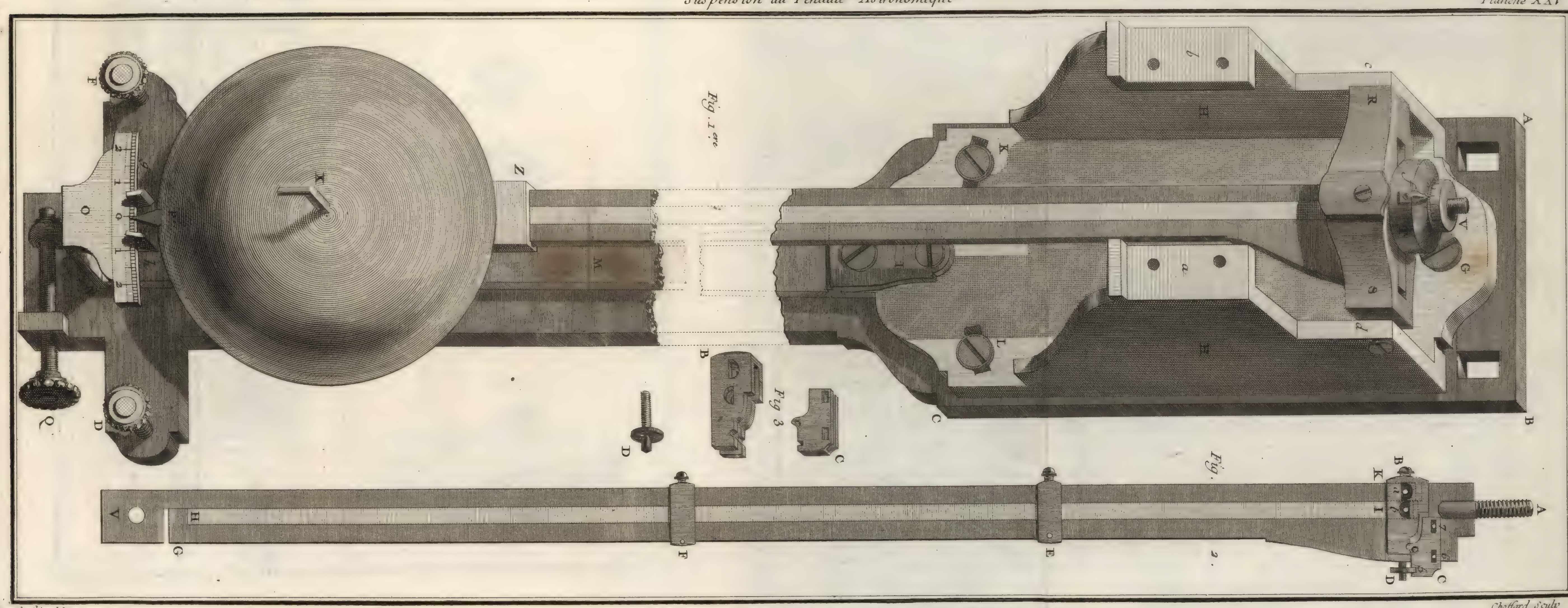
Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del.

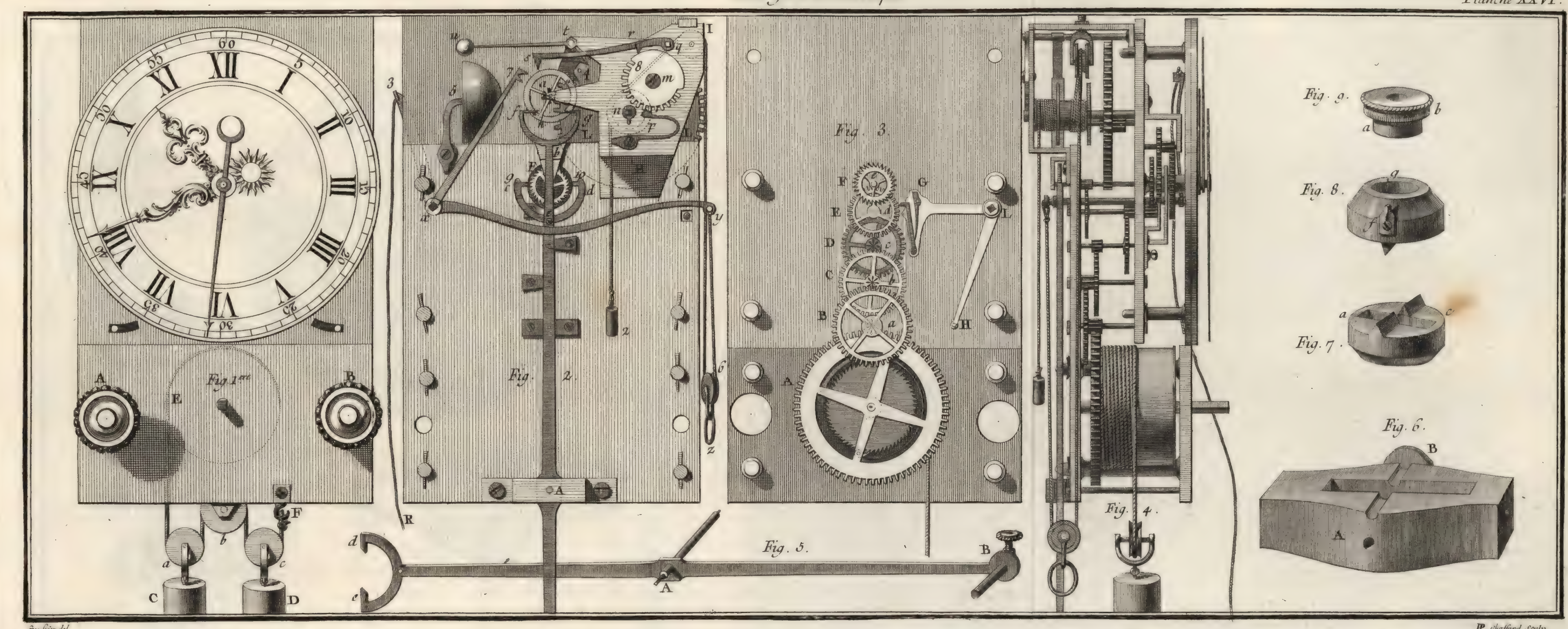
P.P. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged



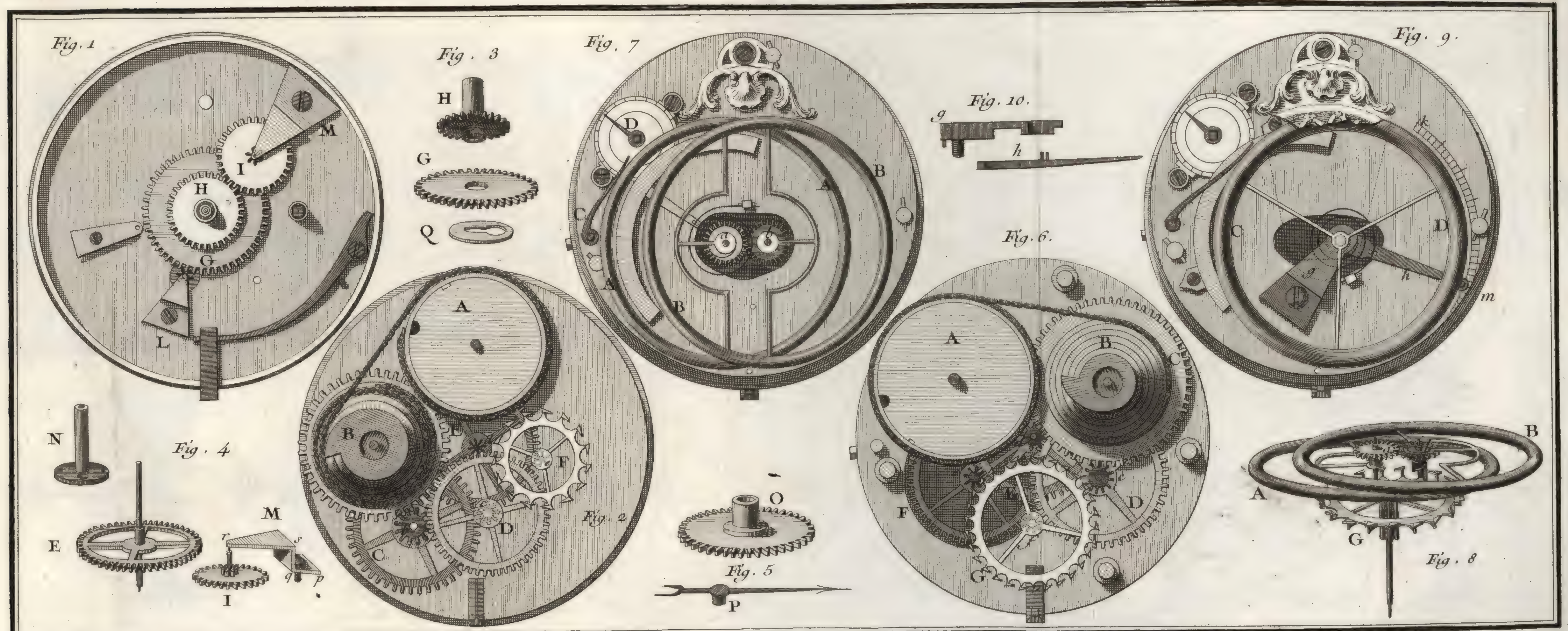
Goussier del. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged



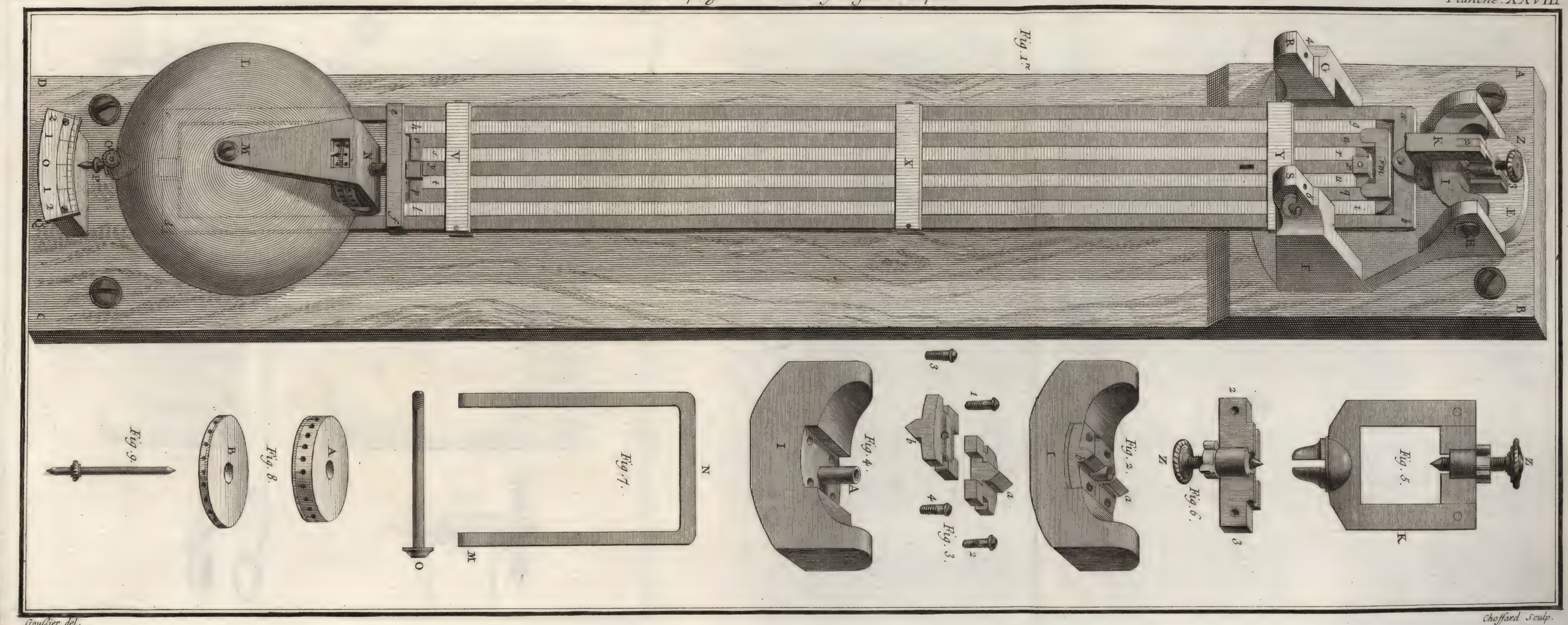
Goussier del. P. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged


Fig. 1
Fig. 3
Fig. 7
Fig. 10.
Fig. 9.
Fig. 6.
Fig. 4
Fig. 2
Fig. 5
Fig. 8
A
B
C
D
E
F
G
H
I
L
M
N
O
P
Q
g
h
m
r
s
q
p
Goussier d.
B. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged

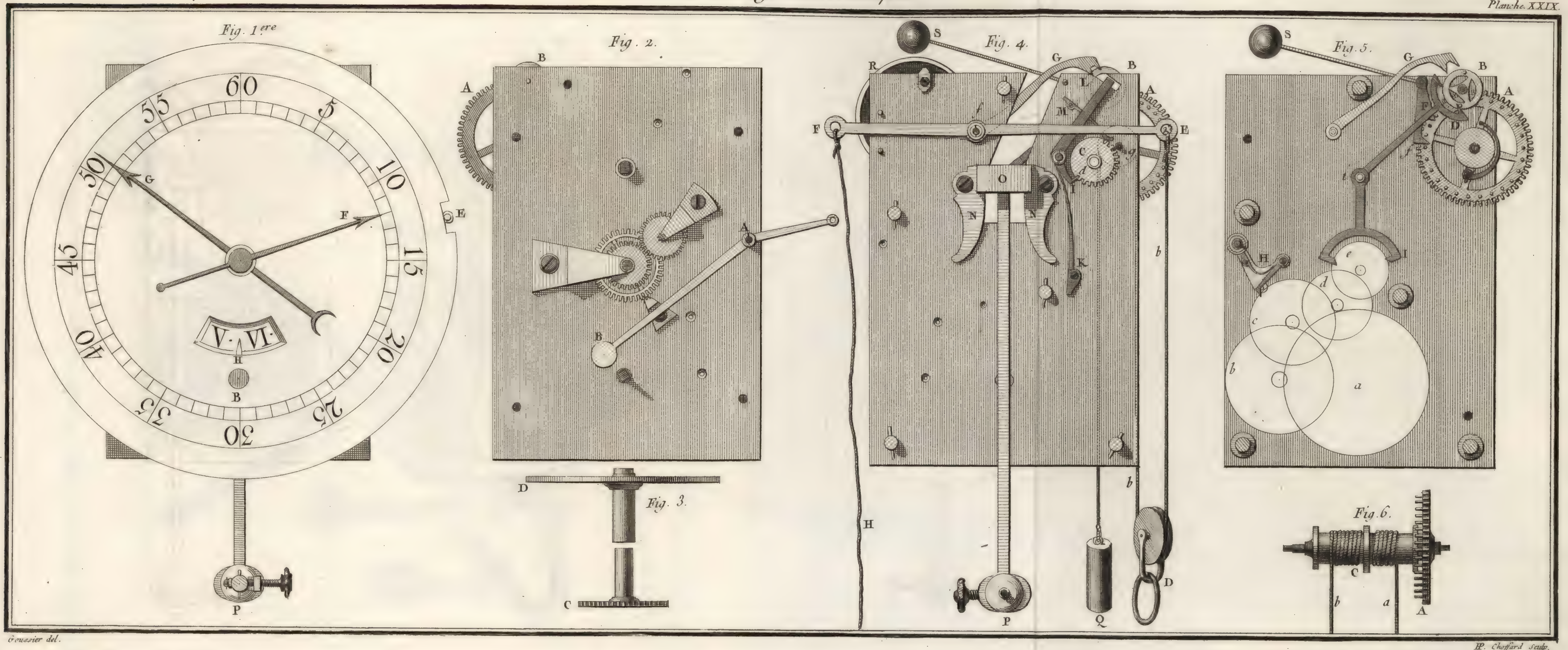
Pendule et Suspension de l'Horloge Astronomique



Goussier del. Choffard Sculp.

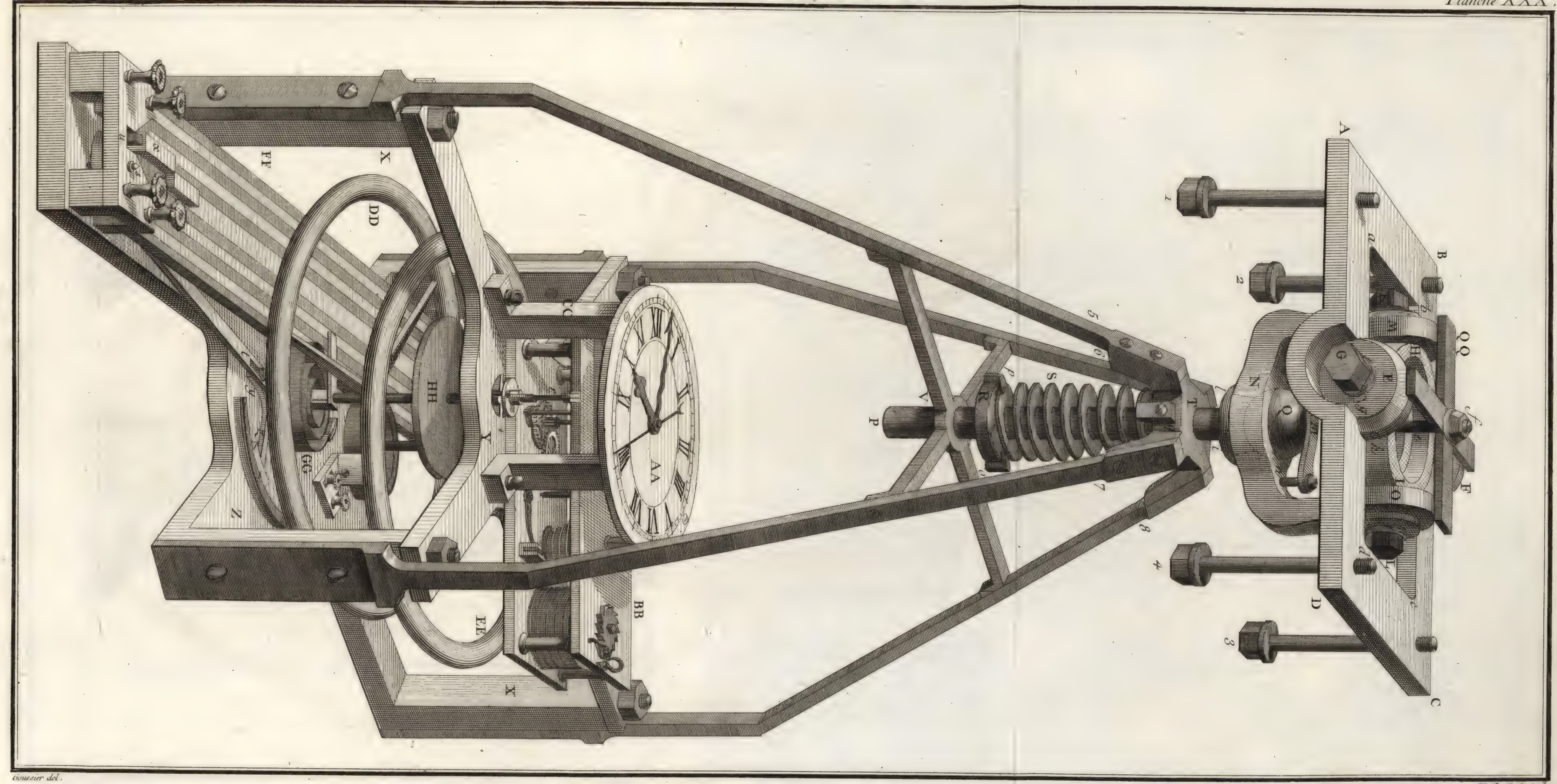
Back of
Foldout
Not Imaged

Mouvement de l'Horloge Astronomique.



Back of
Foldout
Not Imaged

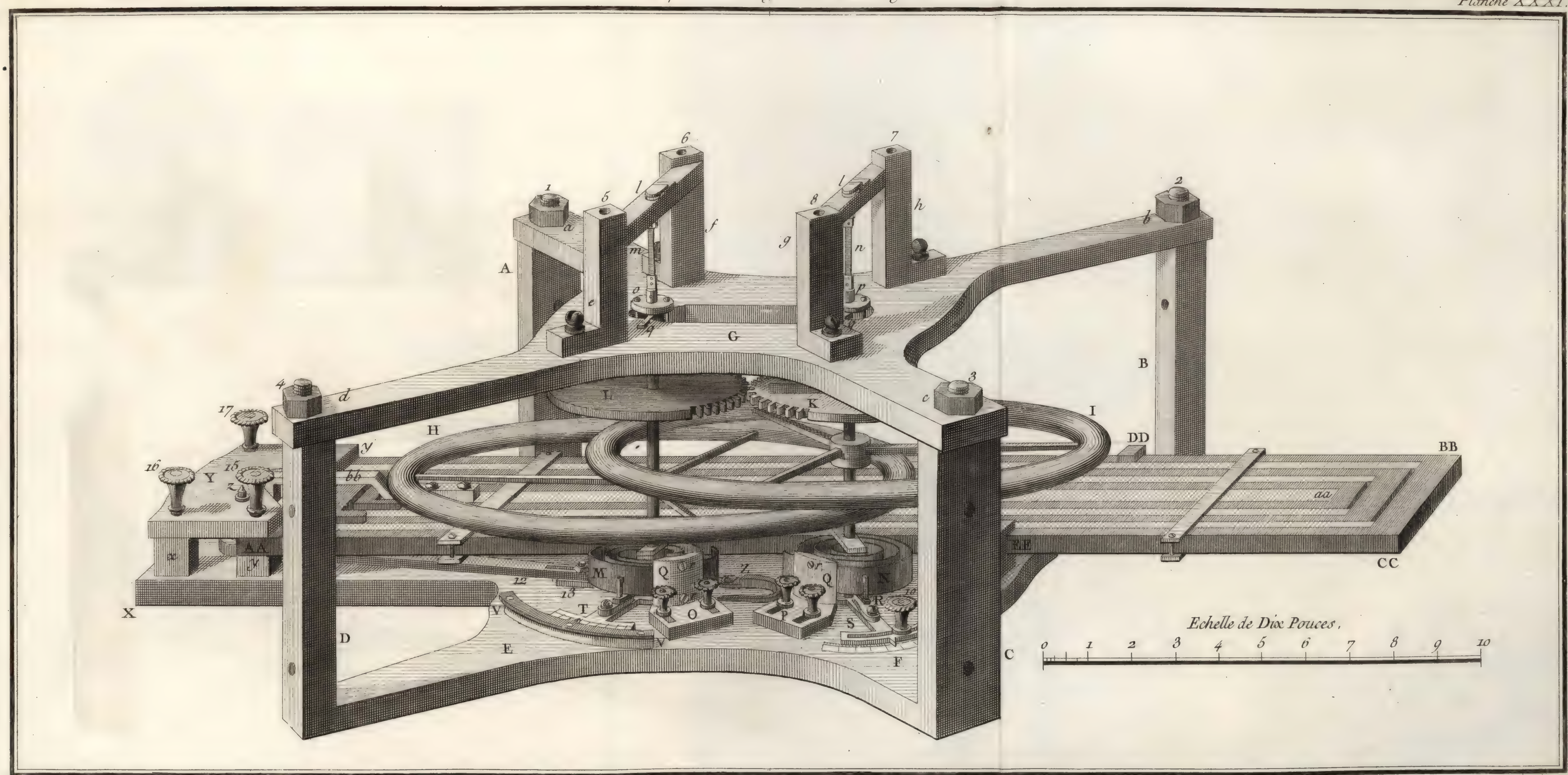
Vuë Perspective de l'Horloge Marine.



Goussier del.

PP Choffard Sculp.

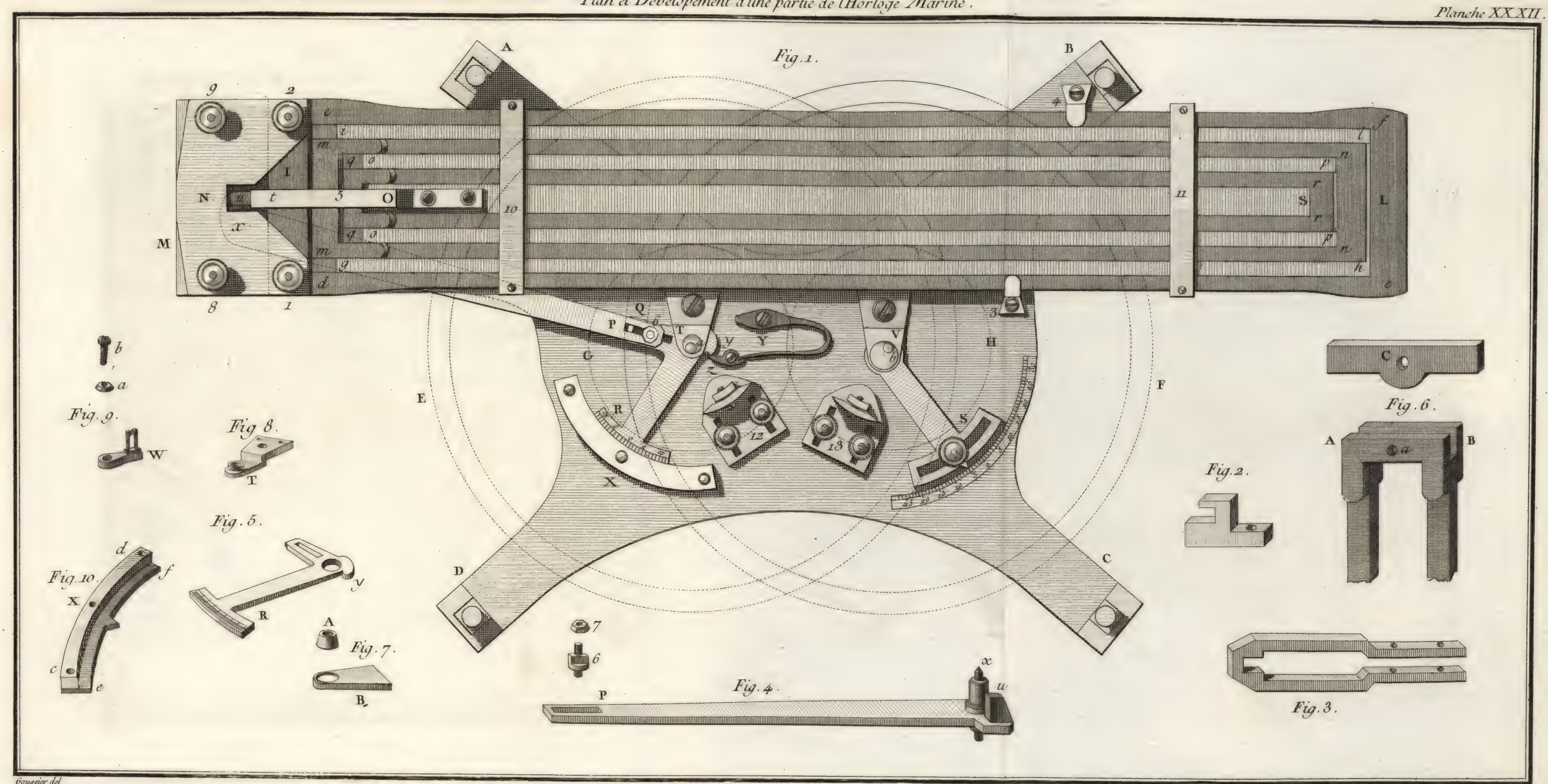
Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del. 1761. PP. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged

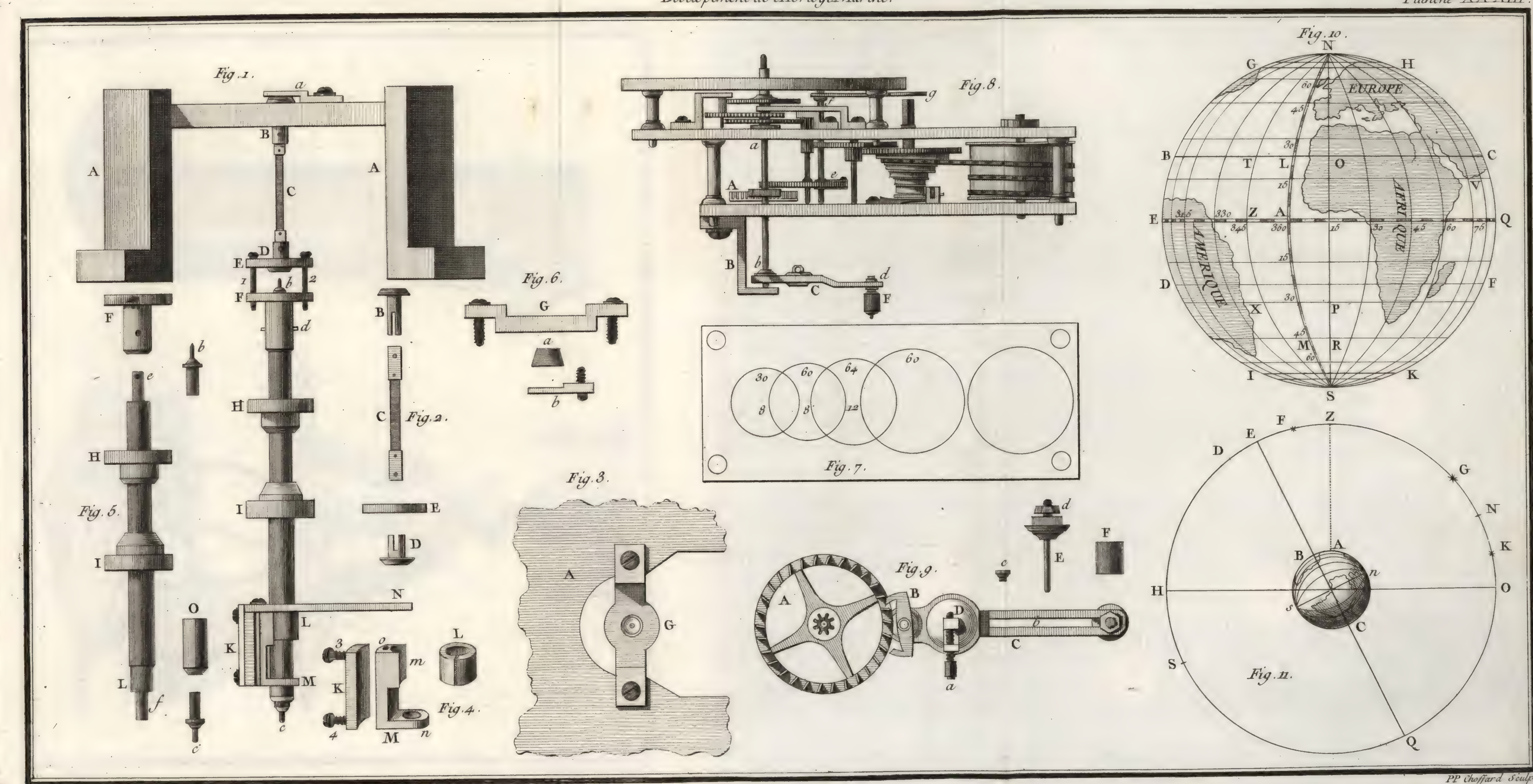
Plan et Developement d'une partie de l'Horloge Marine.



Goussier del.

P.P. Choffard Sculp.

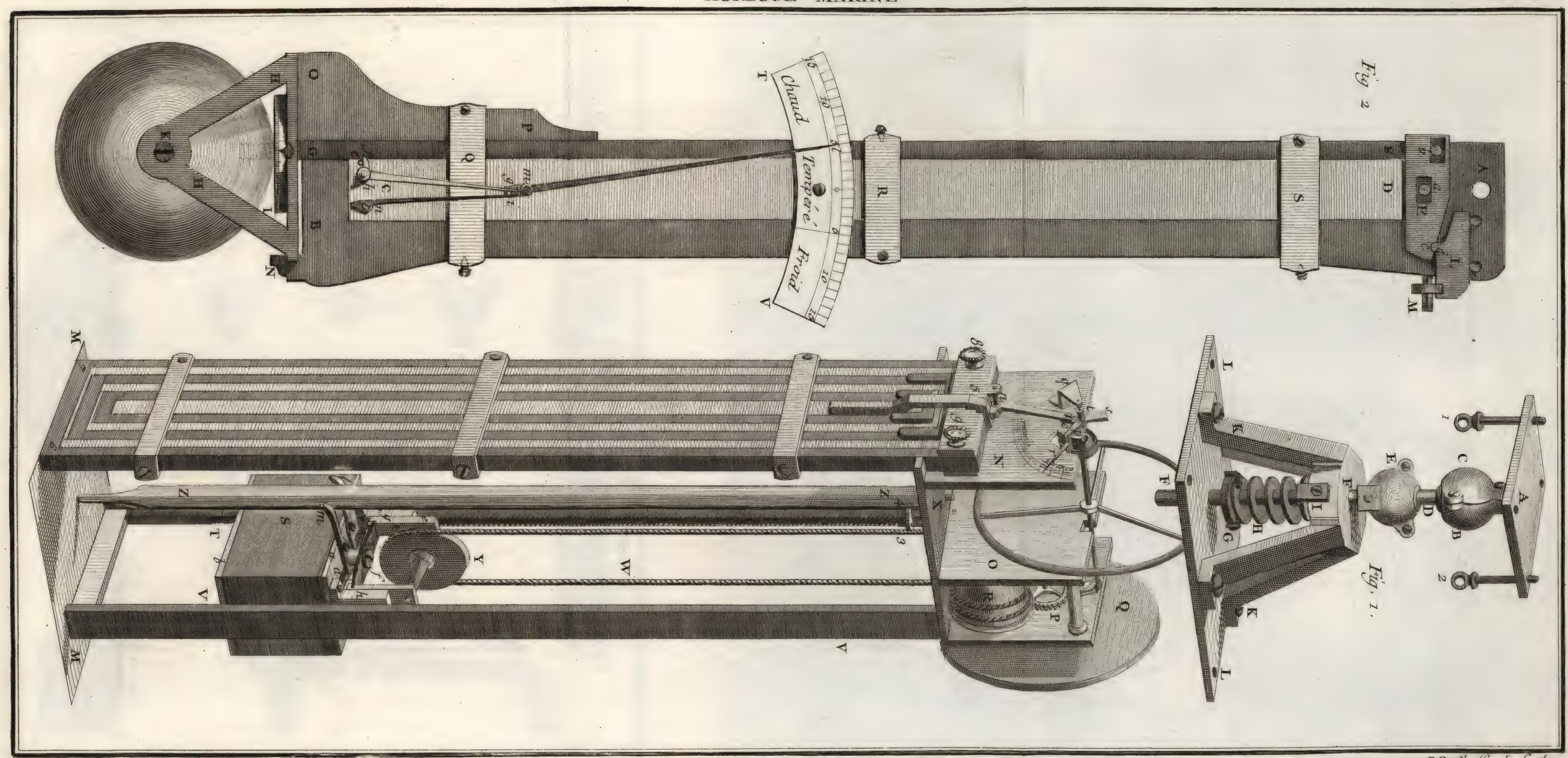
Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del.

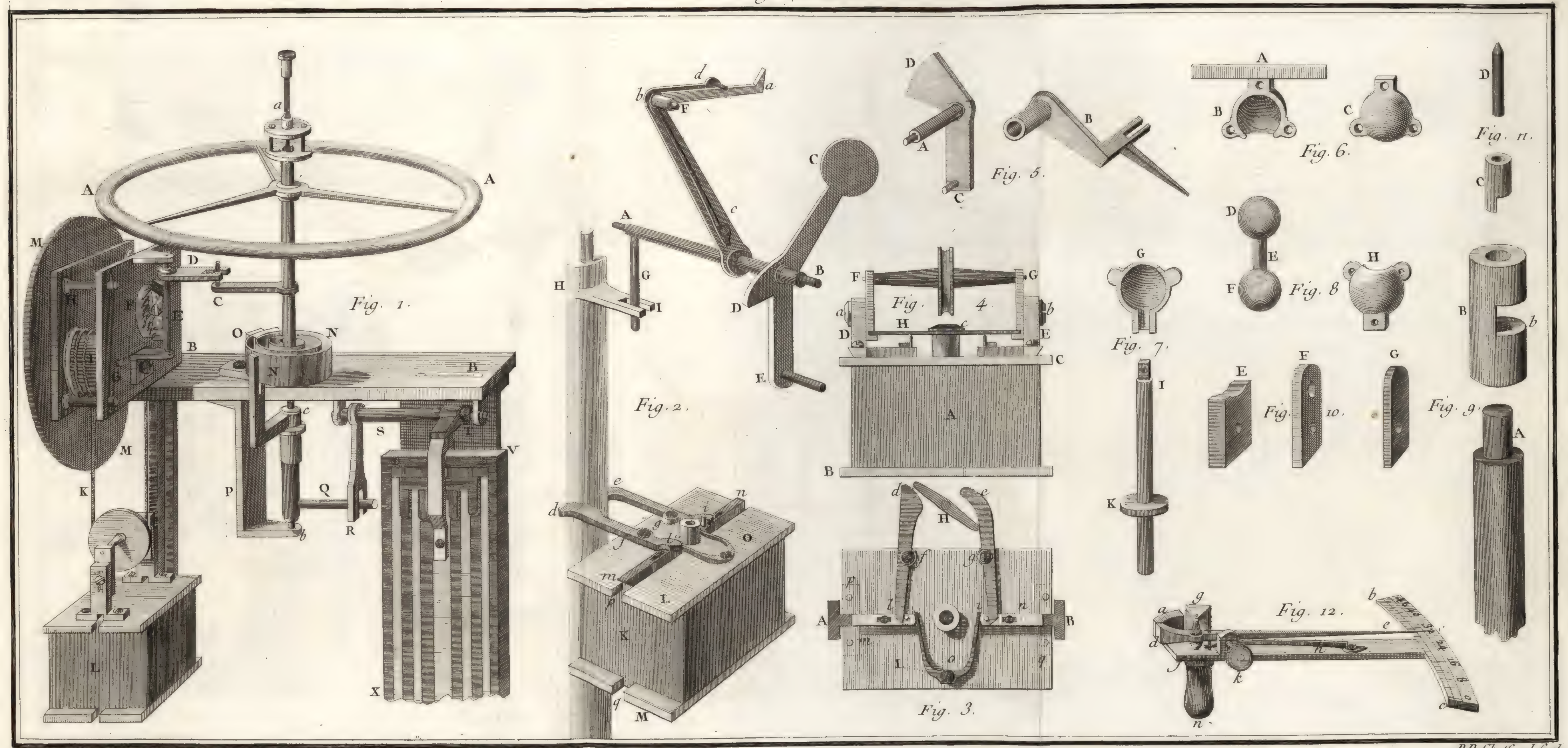
PP Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged



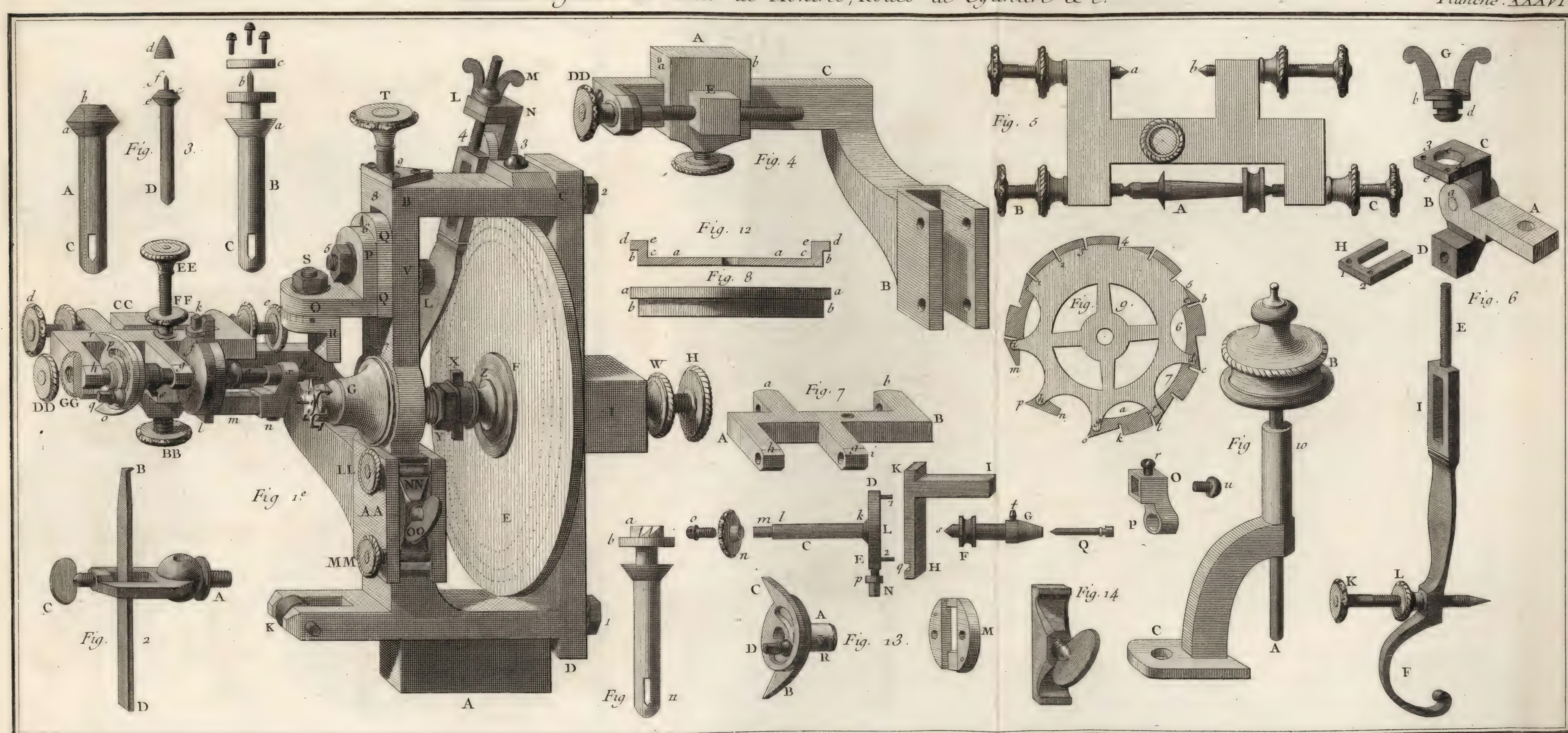
Goussier del. P P Choffard sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del.
P.P. Choffard sculp.

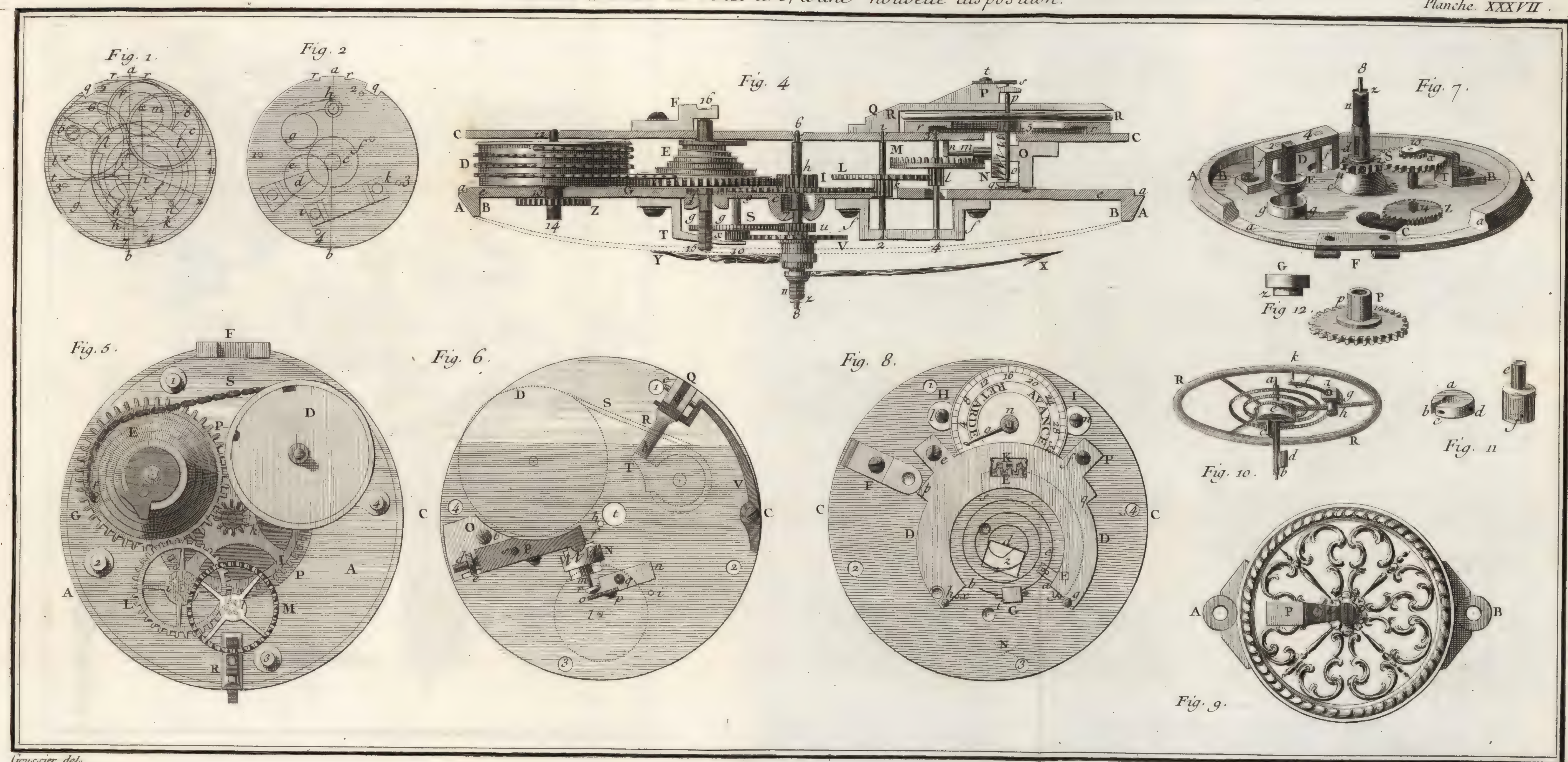
Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del. P.P. Choffard Sc.

Back of
Foldout
Not Imaged

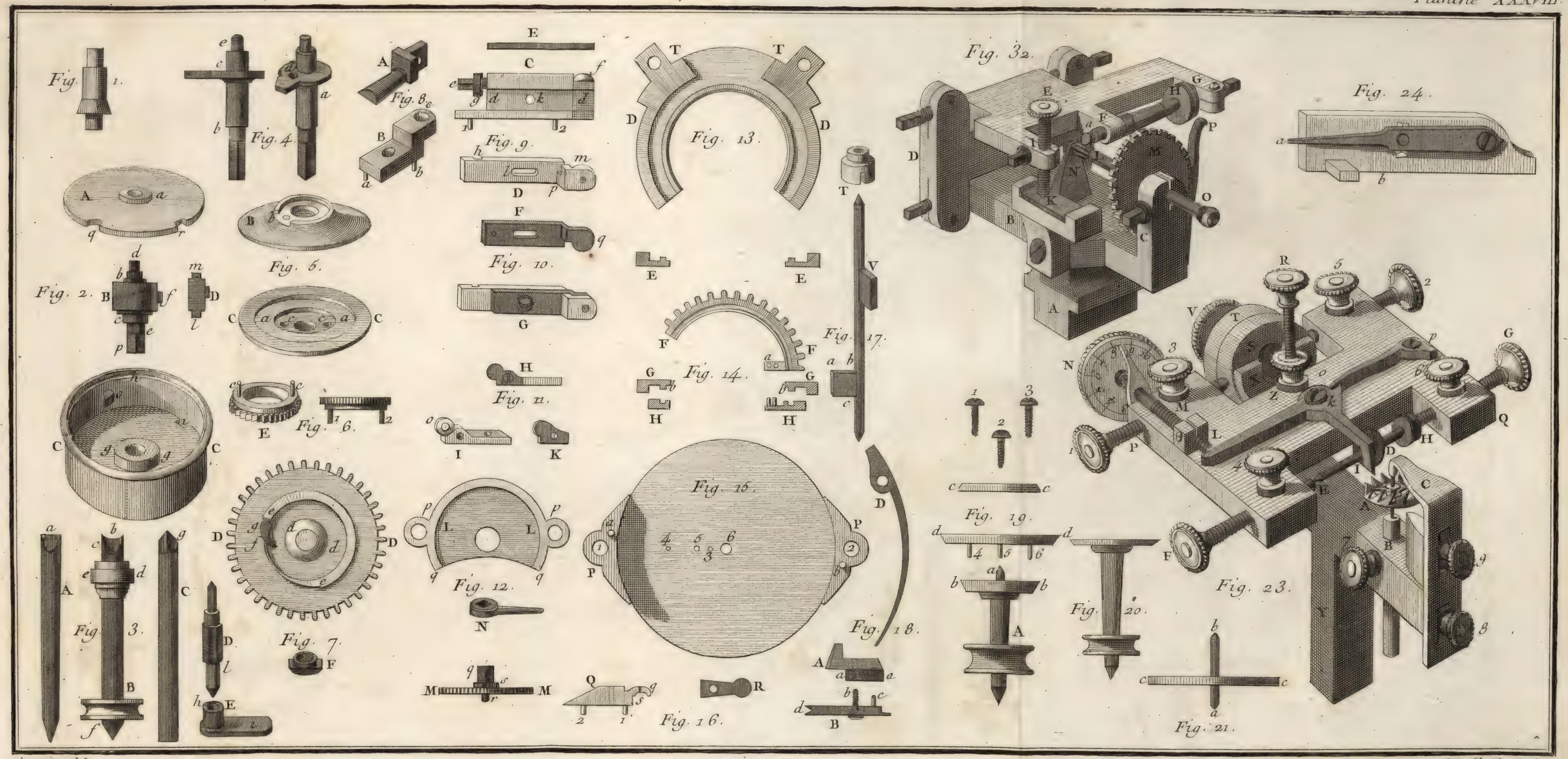
Montre à Roue de rencontre, d'une nouvelle disposition.



Goussier del.

P.P. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged



Goussier del. P.P. Choffard Sculp.

Back of
Foldout
Not Imaged

